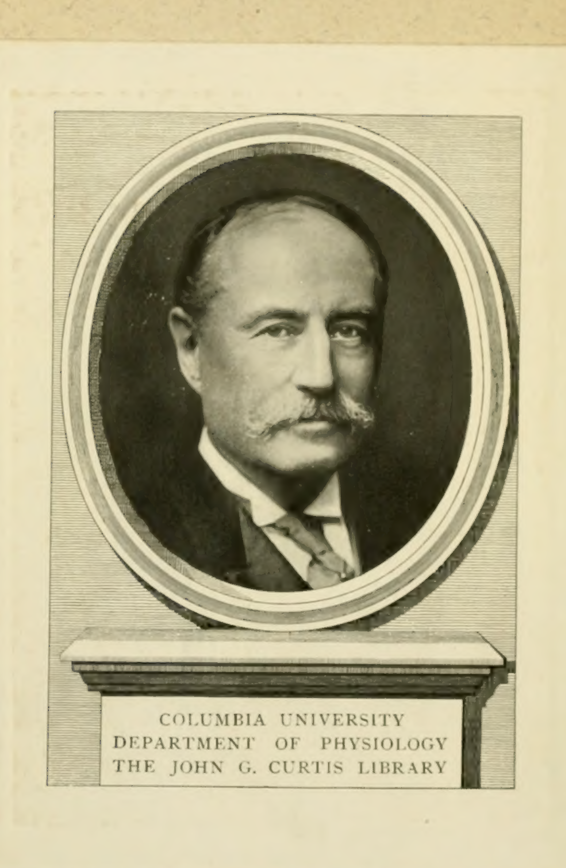
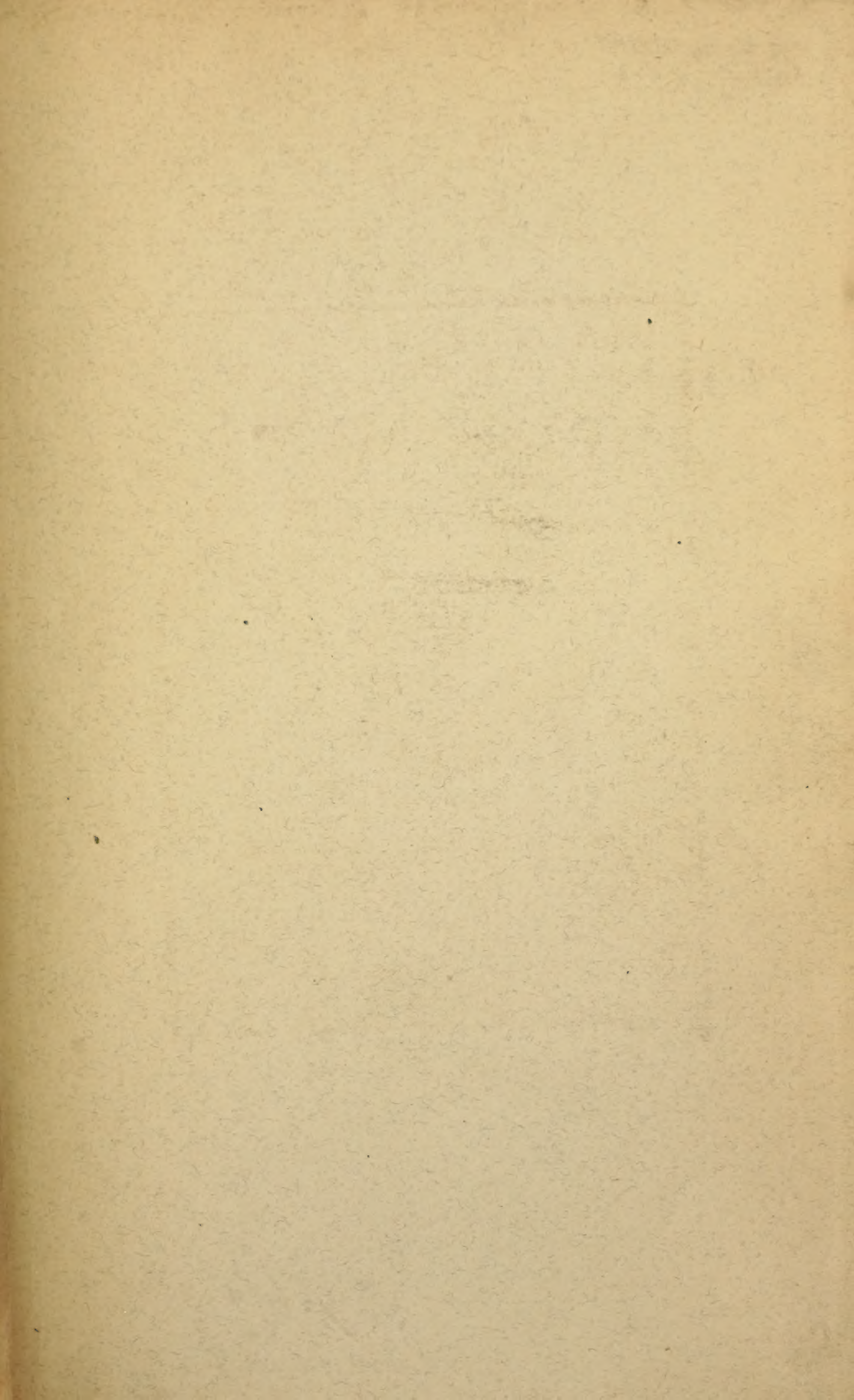
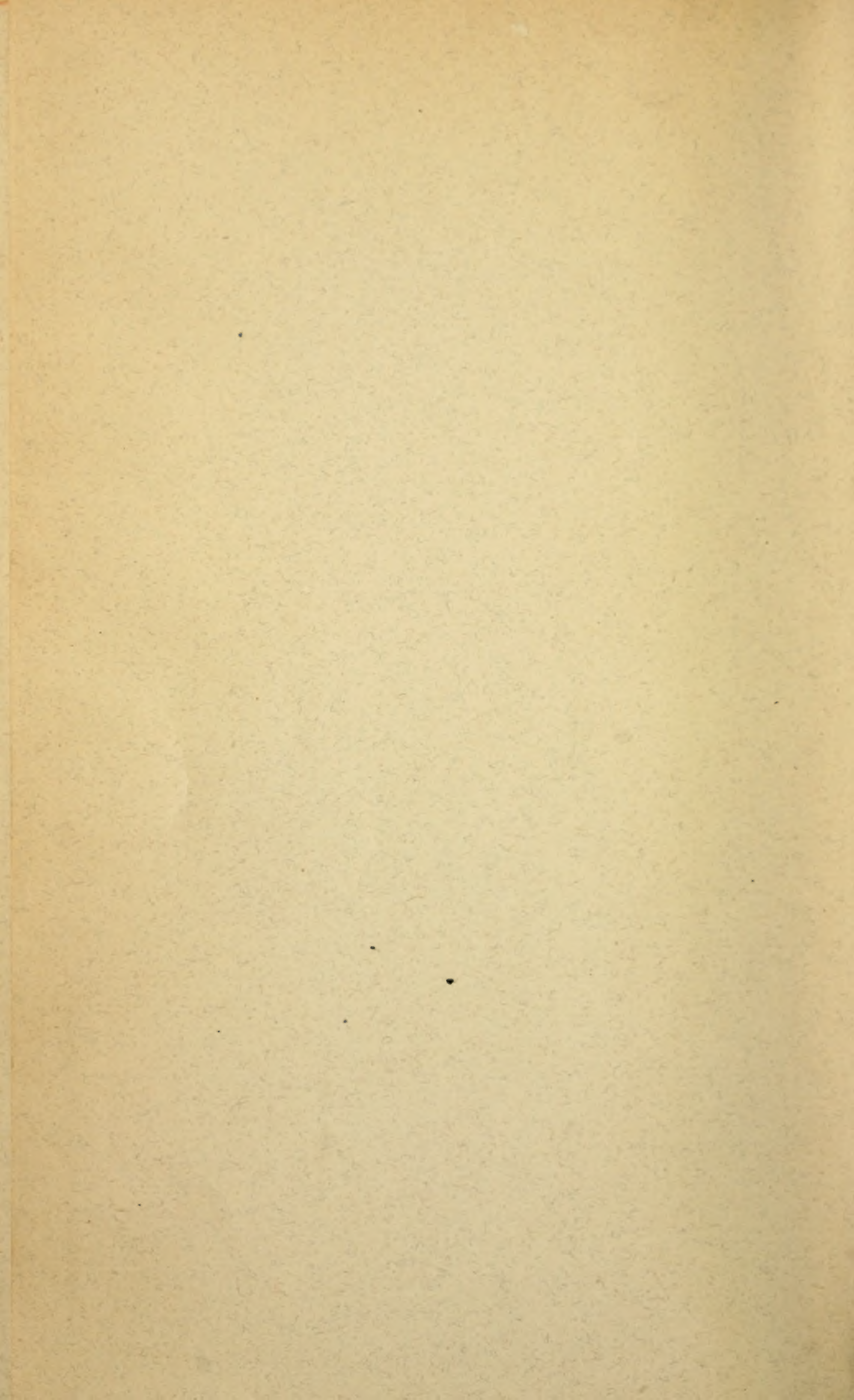










GRUNDZÜGE

DER

PHYSIOLOGIE DES MENSCHEN

MIT

RÜCKSICHT AUF DIE GESUNDHEITSPFLEGE.

FÜR DAS PRAKTISCHE BEDÜRFNISS DER ÄRZTE UND STUDIRENDEN
ZUM SELBSTSTUDIUM BEARBEITET

VON

JOHANNES RANKE,

DR. MED. UND PROFESSOR AN DER UNIVERSITÄT ZU MÜNCHEN.

VIERTE UMGEARBEITETE AUFLAGE.

MIT 274 HOLZSCHNITTEN.

LEIPZIG,

VERLAG VON WILHELM ENGELMANN.

1881.

Vorrede zur zweiten Auflage.

Der Gesichtspunkt, welcher bei der Ausarbeitung der ersten Auflage leitete, war der, dem ärztlichen Publikum die Hauptlehren der Physiologie in leicht verständlicher Form und mit Rücksicht auf die praktische Verwerthung darzubieten. Daher schien es nothwendig, von der Darstellung der rein physiologischen Lehren aus sogleich auf die Anwendung derselben für ärztliche Zwecke, vor Allem für eine physiologische Gesundheitspflege überzugehen. Ebenso erschien es erforderlich, die Beschreibung der physiologischen Technik, soweit sie für den Arzt eine hervorragendere Bedeutung besitzt, so vollständig zu machen, dass eine Ausführung der betreffenden chemischen und physikalischen Versuche nach der gegebenen Anleitung möglich erschien. Mit einem Wort, das Buch sollte ein zum Selbststudium geeignetes **Handbuch** der Physiologie und physiologischen Technik **für den Arzt** sein. Daraus ergab sich weiter, dass die ärztlich minder verwerthbaren Capitel, oder diejenigen, welche sich wie die Ophthalmologie und Embryologie für das ärztliche Bedürfniss als eigene Disciplinen von der Physiologie abgesondert haben, hier entweder übergangen oder wenigstens nur ganz in der Kürze abgehandelt waren. Es wurde dadurch eine, natürlich sehr in die Augen springende Ungleichheit der Darstellung der verschiedenen physiologischen Ergebnisse bedingt.

Die freundliche Aufnahme, welche das Buch von ärztlicher Seite gefunden hat, darf vielleicht als Beweis dafür gelten, dass die Aufgabe im Allgemeinen nicht unrichtig gestellt war; sie ist der Grund dafür, dass in der neuen Auflage der alte Grundplan beibehalten und im Einzelnen sogar noch mehr und directer auf die ärztliche Verwerthung der vorgetragenen Lehren hingewiesen wurde.

Da sich aber das Buch auch Eingang auf Universitäten verschafft hat, so schien für eine neue Auflage, abgesehen von einer sorgfältigen Berichtigung und Durcharbeitung, eine grössere Gleichartigkeit in der Darstellung der einzelnen Capitel und ein Eingehen auf die bisher ausgeschlossenen Disciplinen: Entwickelungsgeschichte und vergleichende Anatomie, wünschenswerth. Es konnte das nur mit einer nicht unbeträchtlichen Vermehrung des Textes erreicht werden, die aber wenigstens zum grossen Theil durch reichlichere Anwendung kleinerer Lettern ausgeglichen werden konnte. Es wird durch den verschie-

denen Druck, wie mir scheint, die Uebersicht über die verschiedenen Richtungen der Darstellung erleichtert.

Für die reiche und gelungene Ausstattung an Abbildungen aus den Schätzen ihres Verlags, sowie in Beziehung auf Druck und Papier spreche ich der rühmlichst bekannten Verlagshandlung meinen Dank aus.

Und so möge sich das Werk in seiner neuen Gestalt die alten Freunde erhalten und neue erwerben.

München, im Mai 1872.

Johannes Ranke.

Vorrede zur dritten Auflage.

Indem ich die dritte, neuerdings durchgearbeite Auflage der Grundzüge der Physiologie vorlege, ist es Pflicht, öffentlichen Dank auszusprechen für die Unterstützung, die mir von fern und nah auch für diese Neubearbeitung zu Theil wurde. Vor Allem bin ich den wissenschaftlichen Gönnern meines Buches für die Uebersendung ihrer Originalwerke und Aufsätze verpflichtet. Doch habe ich zu bedauern, dass einige sehr hervorragende Erscheinungen der neuesten Literatur, da sie mir für den Druck zu spät zukamen, für diese Auflage nicht mehr benutzt werden konnten.

Am Tegernsee, im September 1874.

Johannes Ranke.

Vorrede zur vierten Auflage.

Die vierte Auflage bietet eine vollkommene Durcharbeitung und Erneuerung des Buches. Namentlich die hervorragenden Erscheinungen auf den Gebieten der chemischen Physiologie, dann wichtige Fortschritte in der Physiologie der Sinne und der nervösen Centralorgane waren neu zu berücksichtigen. Wieder habe ich zu meiner Freude für die vielen Beweise des Wohlwollens gegen die »Grundzüge« zu danken und für die reiche Unterstützung durch Uebersendung der Originaluntersuchungen. Nach der III. Auflage erschien eine Uebersetzung in ungarischer Sprache. Die praktischen Gesichtspunkte, welche das Buch vertritt, ohne etwas anderes sein zu wollen als ein Handbuch der gesammten **Physiologie** für den Arzt, scheinen sich mehr und mehr Bahn zu brechen. Der künftige Arzt soll durch das Studium der Physiologie nicht nur allgemeine Belehrung, sondern auch etwas praktisch für seinen Beruf Nützendes erhalten.

München, den 10. Oktober 1880.

Johannes Ranke.

I.

Allgemeine Inhalts-Anzeige.

Allgemeine Physiologie.

Die Physiologie der animalen Zelle.

Specielle Physiologie.

I. Die Physiologie des Stoffwechsels.

I. Die Ernährung.

Seite

9. Capitel: Die Mechanik der Verdauung. Chylus und Lymphe.

1. Bewegung der Nahrungsstoffe im Nahrungsschlauch.

2. Resorption der Nahrungsstoffe ins Blut.

3. Die Lymphe und der Chylus.

II. Das Blut.

10. Capitel: Das Blut und die Blutdrüsen.

11. Capitel: Die Blutbewegung.

1. Das Herz.

12. Capitel: Die Blutbewegung.

2. Die Blutgefässe.

III. Ausscheidungen aus dem Blute.

13. Capitel: Die Athmung.

1. Lunge und Athembewegungen.

14. Capitel: Die Athmung.

2. Die Chemie des Gaswechsels.

Specielle Physiologie.

II. Die Physiologie der Arbeitsleistung.

I. Thierische Wärme.

II. Arbeitsleistung der Knochen, Muskeln und Nerven.

18. Capitel: Das Skelet und seine Bewegungen. Stimme und Sprache.

19. Capitel: Mechanik und Chemie der Muskeln.

1. Mechanik der Muskeln.

2. Die Chemie des Muskels als Bedingung seiner Lebenseigenschaften.

23. Capitel: Gesichtssinn.

1. Der Bau des Auges.

2. Die Dioptrik des Auges.

3. Gesichtsempfindungen.

4. Gesichtswahrnehmungen.

24. Capitel: Der Gehörssinn.

Physiologie der Zeugungsdrüsen.

27. Capitel: Die Zeugungsdrüsen. Hoden und Eierstock.

II.

Zusammenstellung

der

Bemerkungen zu einer physiologischen Gesundheitspflege.

I. Atmosphärische und klimatische Einflüsse auf die Gesundheit.

Seite

II. Beziehungen der Wohnung zur Gesundheit.

III. Die Ernährungseinflüsse auf die Gesundheit.

A. Nahrungsmittel.

III.

Zusammenstellung

der für den Arzt wichtigsen

Manipulationen der physiologischen Technik.

(Medicinische Chemie und medicinische Physik).

I. Medicinische Chemie und Mikroskopie.

II. Medicinische Physik.

Allgemeine Physiologie.

Die

Physiologie der animalen Zelle.



Erstes Capitel.

Von der Gestalt der Zelle, ihrer Entstehung und Umbildung.

Schema der Zelle.

Aristoteles, der Begründer der exacten Forschungsmethode in den Naturwissenschaften, sagt in seinem Buche über die Theile der Thiere, dass der Mensch, der Gegenstand unserer fortwährenden Betrachtung, das unbekannteste Naturobject sei in Beziehung auf seinen inneren Bau.

Jene missverstandene religiöse Scheu, welche im Alterthum die Zergliederung des menschlichen Leibes unmöglich zu machen schien, ist dem natürlichen Interesse der Selbsterkenntniss, dem Wissensbedürfniss des Arztes gewichen. Es gab bald kein Naturobject, welches wenigstens in seinen gröberen Verhältnissen so gründlich durchforscht und auch erkannt gewesen wäre, als der Körper des Menschen; schon zu Ende des vergangenen Jahrhunderts schien die Frage nach dem inneren Bau des Menschen vollkommen erledigt.

Unserer Zeit ist es gelungen, da sie mit verbesserten Untersuchungshülfsmitteln von neuem an die Frage herantreten konnte, auch hier einen entscheidenden Fortschritt zu machen. Während man früher bei den betreffenden Untersuchungen nur zu einer grösseren Anzahl verschiedener Elementarformen, aus denen sich der Körper zusammensetzte, gelangte, ist es vor wenig Jahrzehnten geglückt, das allgemeine Formgesetz aufzufinden, nach welchem sich in allen jenen Verschiedenheiten eine überraschende Gemeinsamkeit ergibt.

Die Wissenschaft vom Körper des Menschen, von seinem Bau und seinen Verrichtungen verdankt ihre grossen Fortschritte, die sie in der letzten Zeit zu einer früher ungeahnten Vollkommenheit geführt haben, den vorausgegangenen Entdeckungen der Chemie und Physik. Jede neue Errungenschaft auf jenen Gebieten trägt hier ihre Früchte. Für die Verhältnisse, die wir zuerst zu betrachten haben, war es die Entdeckung des zusammengesetzten Mikroskopes, mit dessen Hülfe die entscheidenden Resultate gewonnen werden konnten.

Die grösste Entdeckung, welche wir dem Mikroskope verdanken, ist zunächst nicht, wie es auf den ersten Blick erscheinen könnte, die, dass es uns mit Hülfe seiner optischen Vergrösserung einen Einblick in eine neue Welt mikroskopisch kleiner Organismen eröffnete; als der grösste Erwerb mit seiner Beihülfe muss

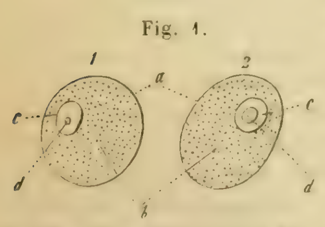
die Erkenntniss der einfachen Elementarstructur des menschlichen Körpers und mit ihm der gesammten organisirten Natur angesprochen werden.

Dem, der sich ein nur annähernd richtiges Bild machen kann von der Mannigfaltigkeit der Thier- und Pflanzenformen, vom Menschen bis hinab zu den kleinen, mit unbewaffnetem Auge nicht mehr sichtbaren Thierchen, von der Eiche bis zu dem mikroskopischen Pflänzchen, muss es im höchsten Grade Erstaunen einflössen, wenn die Wissenschaft lehrt, dass diese Menge ihm so grundverschieden dünkender Erscheinungsformen nach Einem Plane gebaut sei; wenn sie behauptet, dass eine Zusammenhäufung ein und derselben elementaren Grundform von mikroskopischer Kleinheit diese Welt von Mannigfaltigkeiten zusammensetzt.

Die Wissenschaft geht noch weiter, indem sie lehrt, dass jede dieser einzelnen, den thierischen und pflanzlichen Leib aufbauenden Grundformen als ein eigener, im Wesentlichen abgeschlossener Organismus betrachtet werden müsse. Der Organismus des Thieres und der Pflanze hört damit bis zu einem gewissen Grade auf, eine in sich geschlossene Einheit darzustellen. Er ist ein Aggregat jener Grundformen der Organisation, die wir als Grundorganismen oder mit Brücke als Elementarorganismen bezeichnen können. Die Wissenschaft legt ihnen den Namen Zellen bei. Im Folgenden haben wir uns auf die animale Zelle und ihre Betrachtung vor allem zu beschränken.

Die zahllosen, einen irgend grösseren Organismus zusammensetzenden Zellen führen auch in dieser Vereinigung eine unverkennbare Sonderexistenz. Wir sehen sie jede einzeln für sich entstehen, wachsen, sich fortpflanzen, erkranken, zu Grunde gehen, ohne dass der übrige Gesammtorganismus an diesen Einzelschicksalen eines seiner Grundtheilchen weiteren Antheil nehmen müsste. Das individuelle Leben jeder einzelnen Zelle gibt sich in eigenen, besonderen Thätigkeiten zu erkennen. Das Gesammtleben, die Gesammtthätigkeiten des grossen Organismus sind aber das Resultat des Einzellebens, der Einzelthätigkeiten aller ihn zusammensetzenden Zellen. Es wird unsere Aufgabe sein, das Leben der Zelle möglichst nach allen Richtungen zuvor zu erforschen, wenn es uns gelingen soll, die Gesammtfunctionen eines grösseren Organismus, in unserem Falle des menschlichen Leibes, kennen und verstehen zu lernen.

Fig. 1.



Kugelige Zellen. *a* Zellmembran. *b* Zelleninhalt. *c* Kern. *d* Kernkörperchen.

Man definirte ursprünglich die Zelle als ein kugeliges, kernhaltiges, mikroskopisches Bläschen (Fig. 1), mit zähflüssigem, vorwiegend aus Eiweissstoffen, Salzen und Wasser bestehendem Inhalt, eine Definition, welche durch die neueren Forschungs-Ergebnisse wesentlich umgestaltet wurde.

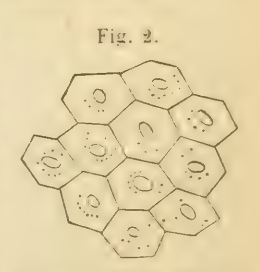
Es steht fest, dass alle höheren Thiere in ihren frühesten Entwickelungsstadien ganz und gar aus Zellen bestehen, und dass alle die complicirteren Bildungen ihres Organismus sich aus Zellen entwickeln.

Der Gedanke, dass die zusammengesetzten Bildungen des thierischen Organismus aus gleichartigen belebten Urtheilchen beständen oder wenigstens aus solchen sich herleiteten, ist zuerst theoretisch, in einem gewissen Zusammenhange mit der Leibniz'schen Monadentheorie ausgesprochen worden (E. du Bois-

Reymond). Schon im Jahre 1805 finden wir ihn in dem Werke über Zeugung bei Oken. Seine Urtheilchen sind Bläschen; in dem Programm über das Universum (1808) sagt er: »Der erste Uebergang des Unorganischen in das Organische ist die Verwandlung in ein Bläschen, das ich in meiner Zeugungstheorie Infusorium genannt habe. Thiere und Pflanzen sind durchaus nichts anderes, als ein vielfach verzweigtes oder wiederholtes Bläschen, was ich auch seiner Zeit anatomisch beweisen werde«. Heusinger, Purkinje und A. F. J. Carl Mayer (in Bonn) kamen auch von theoretischer Seite zur Behauptung des Daseins organischer Urtheilchen, die zum Theil als Infusorien und Zoospermien ein selbständiges Leben führen sollten. Buffon glaubte, dass diese belebten Urtheilchen sich zu grösseren Organismen (Kleisterälchen) zusammenfügen könnten. Valentin hat auf die Realität der Structur der thierischen Organismen aus Bläschen hingedeutet; die volle wissenschaftliche Reife durch Beobachtung erhielt die Zellenlehre im Jahre 1838 durch die Untersuchungen von Schwann (»Mikroskopische Untersuchungen über die Uebereinstimmungen in der Structur und dem Wachsthum der Thiere und Pflanzen«. 1839).

Die Bezeichnung »Zelle« für die Elementarorganismen im Thier- und Pflanzenreich rührt von der Aehnlichkeit her, welche mikroskopische Schnitte junger Pflanzentheile mit einem Flachschnitte durch eine Anzahl zusammenhängender Zellen einer Honigwabe zeigen (Fig. 2). Die an einander gelagerten Pflanzenzellen zeigen vielfältig wie die letzteren im Querdurchschnitt eine ziemlich regelmässige sechseckige Gestalt. Es bekommt dadurch das mikroskopische Bild auch eine gewisse Aehnlichkeit mit einem grobmaschigen Zeuge, das die Bezeichnung Gewebe für eine solche Zusammenordnung von Zellen zu rechtfertigen scheint, obwohl wenigstens bei den animalen Geweben diese Grundform sehr bedeutende Modificationen erleiden kann.

Fig. 2.

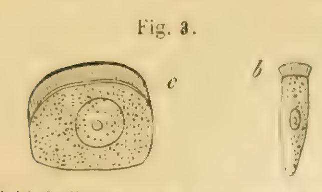


Epidermis eines zweimonatlichen menschlichen Embryo, noch weich wie Epithelium. 350mal vergrössert.

Für ein Bläschen ist eine geschlossene Hülle, eine Haut oder Membran das wesentliche Characteristicum. Wirklich zeigen viele als Zellen angesprochene Gebilde sicher in späteren Stadien ihres Lebens eine hautartige Hülle. Diese Zellmembran zeigt in der Mehrzahl der Fälle auch für unsere besten Mikroskope keine erkennbare Structur, sie scheint vollkommen homogen zu sein. Wir werden in der Folge unserer Betrachtungen auf Thatsachen stossen, die uns zwingend darauf hinweisen, nicht nur dass feine Porenöffnungen in der Zellenhülle enthalten sein müssen, welche den Ein- und Austritt von Stoffen der Zelle vermitteln; ja wir werden Andeutungen treffen, dass eine ganz bestimmte mechanische Anordnung sich finden müsse, welche einen Gegensatz zwischen der Aussen- und Innenfläche in derselben statuirt. Als Andeutung eines feineren Baues der Zellmembran sind die Beobachtungen von radiären Streifungen in den verdickten Membranen einiger Zellen zu nennen, die sich entweder als feine Durchbohrungen erklären oder auf Zusammensetzung der Zellhaut aus senkrecht dicht neben einander stehenden Stäbchen hindeuten. Funke und Kölliker haben derartige »Porencanäle« an den die Innenfläche des Darmes der Säugethiere auskleidenden Zellen und zwar an ihrem hellen Grenzsaum, der dem Darmlumen

zugekehrt ist, angegeben. O. SCHROEN beschreibt solche an den Zellen des Rete Malpighii der menschlichen Haut. LEYDIG stellte sie zuerst am Eierstocks-Ei des Maulwurfs dar (Fig. 3); vielleicht finden sie sich in der Zona pellucida aller Eier der Säugethiere wie des Menschen, welche wir als das Urschema der animalen Zelle kennen lernen werden. KÖLLIKER erinnert daran, dass an manchen Zellen sogar grössere Oeffnungen vorkommen, die Mikropylen mancher Eier, die Ausmündung einzelliger Drüsen. Die dickwandigen Kapseln der Knorpelzellen können (bei Rachitis) wie bei den verholzten Pflanzenzellen »Tüpfelcanälen« ähnliche Durchbrechungen zeigen.

Fig. 3.



Epithelzellen aus dem Darm, *c* und *b* einseitig verdickte Wand mit Porencanälen (nach LEYDIG).

Die Zellmembran umschliesst einen bei verschiedenen Zellen sehr verschiedenen eiweissreichen Inhalt, in seiner wesentlichen Masse als Protoplasma bezeichnet. Im Allgemeinen zeigt letzteres sich halbflüssig, mehr oder weniger zäh, mit moleculären, körnigen, in manchen Fällen vollkommen regelmässig angeordneten Einlagerungen. Meist findet sich bei lebensfähigen Zellen innerhalb dieses Inhaltes neben den kleineren moleculären Körnchen central oder wandständig stehend ein solider oder bläschenförmiger Kern, der in seinem Innern noch ein oder mehrere kleinere, meist stärker glänzende Körnchen, die sogenannten Kernkörperchen erkennen lässt. Danach pflegte man, wie schon oben gesagt, an dem Schema der Zelle zu unterscheiden: eine kugelig gestaltete, rings geschlossene, bläschenartige Membran mit einer bestimmten, mikroskopisch jedoch bis jetzt kaum nachweisbaren Structur, einen mehr oder weniger dickflüssigen Inhalt meist mit kleinen eingestreuten Körnchen und einem grösseren Kern mit einem oder mehreren Kernkörperchen.

Von diesen die Zelle zusammensetzenden »Organen« kann eines oder das andere mangeln, ohne dass dadurch das Ganze den Charakter der Zelle verlieren müsste. Das Protoplasma ist die lebende Materie, seine Differenzirungen in Zellkern, Kernkörperchen und Zellenmembran können fehlen, und doch dürfen wir das mikroskopische Gebilde als Elementarorganismus bezeichnen und halten für ihn auch an dem Namen: Zelle fest.

Umbildung der Zellenlehre. — LEYDIG erklärt (Lehrbuch der Histologie 1857) für das Centrum der Bewegung in der animalen Zelle den Zellkern, der das umgebende Protoplasma gleichsam belebt. Eine analoge Ansicht bürgerte MAX SCHULTZE bei den Mikroskopikern ein. Man definirt die Zelle als ein »Klümpchen Protoplasma, in dessen Innern ein Kern liegt«, indem man diesem Kern eine grössere oder geringere Bedeutung für das Zellenleben beilegt. Einige Autoren stellen den Zellkern verschiedener Gewebszellen als das Endorgan eines in die Zelle dringenden Nerven dar. In den Kernen der Ganglienzellen, der glatten Muskelfasern, in den Drüsenzellen der Speicheldrüsen, des Pankreas, der Leber, in den Epithelzellen der Drüsenausführungsgänge, in den Endorganen der Sinnesnerven, soweit sie die Dignität von Zellen besitzen, endigt nach vielfältigen Angaben eine Nervenfaser. PFLÜGER schliesst aus seinen Beobachtungen, »dass die jungen Kerne mancher Drüsenzellen in den Axencylindern entstehen, dass die Drüsenzellen, welche später eine Verdickung des Axencylinders darstellen, aus den Nerven knospend hervorwachsen« (1869).)

In Beziehung auf das Läugnen der Zellenmembranen an einer grossen Zahl »jugendlicher Zellen« stellt sich eine ziemliche Harmonie zwischen einer grossen Zahl von Forschern heraus.

Man darf aber dabei nicht übersehen, dass man nach der neueren Auffassungsweise vielfältig älteren Beobachtungen, die zur Annahme einer Zellenmembran führten, nur eine andere Deutung gibt.

Im Gegensatze zu der Anschauung von der hervorragenden Bedeutung des Zellkerns für das Zellenleben steht eine andere Anschauungsweise, welche als Urtypus aller Organisation »kleine mit Bewegungsfähigkeit ausgestattete Protoplasmaklümpchen« als Elementarorganismen bezeichnet. Der Kern ist danach für die »Zelle« auch nicht erforderlich. Diese Auffassung wurde zunächst von Brücke im Anschluss an die Beobachtungen der Botaniker aufgestellt. In der neueren Zeit wurde sie durch Haeckel's und Cienkowsky's Untersuchungen über kernlose Protisten (z. B. Protogenes primordialis) im adriatischen Meer, so wie durch die analogen Beobachtungen M. Schultze's besonders angeregt.

Kölliker nennt das Protoplasma (Cytoplasma) die vorzugsweise lebende Substanz.

Nach Häckel vermehrt sich jener kernlose, nur aus einem Protoplasmaklümpchen bestehende Protogenes, also ohne Betheiligung eines Kerns, durch Theilung.

Gegenbaur ist der Ansicht, dass die complicirten formellen Lebenserscheinungen des Protoplasmas, wenn man es auch anatomisch nicht weiter zerlegen kann, doch der Art seien, dass sie nicht blos einen complicirteren, in der molecularen Beschaffenheit beruhenden Bau voraussetzen lassen, als wir bis jetzt zu erkennen im Stande sind, sondern dass das Protoplasma darin complicirten Organismen an die Seite gesetzt werden könne.

C. Heitzmann glaubt an dem Protoplasma der Amöben, Blutkörper des Flusskrebses, farblosen Blutkörperchen von Triton und vom Menschen, Colostrumkörperchen mit stärksten Vergrosserungen eine sichtbare netzförmige Struktur nachgewiesen zu haben. Die bekannten Protoplasmakörnchen sind die Knotenpunkte dieses Netzwerks. Den Thierkörper erklärt Heitzmann für einen gewaltigen Protoplasmaklumpen, in welchem sich »isolirte Protoplasmakörper« (Wanderzellen, weisse und rothe Blutkörperchen, neben nicht im strengen Wortsinn lebendigen Substanzen (Bindegewebe, Fett, Pigmentkörper etc.) eingelagert finden.

Als einfachsten Typus der Organisation spricht man nun ein Protoplasmenklümpchen (mit oder ohne Kern: Bischoff's kernhaltige Protoplasten oder Häckel's kernlose Cytoden) an. Er ist z. B. bei Pflanzen (Bildung der Schwärmsporen, cf. unten) constatirt. Bei der Lehre von der Entwickelung des Eies werden wir sehen, dass in einem gewissen Stadium nach dem Verschwinden des Keimbläschens und vor dem Neuauftreten des Kerns als Furchungscentrum sein Protoplasma eine kernlose kugelige Masse darstellt, welcher in höchstem Maasse die Entwickelungsfähigkeit innewohnt. Die weiteren Differenzirungen des Leibes dieser »Elementarorganismen« (Brücke) führen zunächst zur Bildung eines »Kernes«, vielleicht zunächst noch ein solider, festweicher Protoplasmatheil, der mehr und mehr an Selbständigkeit gegenüber dem übrigen Protoplasma gewinnt, und sich durch eine eigene Membran abschliessen kann, welche z. B. bei dem Keimbläschen, dem Kern des unbefruchteten Eies, das als eine Zelle auf dem Höhepunkt der formalen Entwickelung betrachtet werden darf, auf das Sicherste nachgewiesen ist. Der Kern gestaltet sich dadurch in ein Bläschen um. Der Kern entsteht aus dem Protoplasma, er liegt stets im Protoplasmarest eingebettet, er ist im Stande, sich wieder zu Protoplasma aufzulösen, er enthält die wesentlichen chemischen Bestandtheile desselben (Eiweisskörper, Nuclein), er ist, da wo er sich findet, ein besonders wesentlicher Theil des Protoplasmas. In diesem Zustande der Differenzirung: Protoplasma mit eingelagertem Kern, scheinen sich die animalen Elementarorganismen vielfältig zu finden, man spricht auch diesen Zustand als einen Jugendzustand der Zelle an. Consequent müssen derartige Gebilde von denen »nackte Zellen« genannt werden, welche zum Begriff der Zelle die Membran als unerlässlich voraussetzen.

Die Stoffe, die den Kern bilden, waren vor seiner Abscheidung in irgend einer Weise im Protoplasma vorhanden, sie können wieder in das Protoplasma zurückkehren. Auch die anderen Differenzirungen der Zelle, die Bildung der Zellmembran und der Zwischenzellenmassen, die Bildung der körnigen und flüssigen Protoplasmaeinschlüsse, die Bildung der Kernkörperchen sind zunächst Differenzirungen des Protoplasmas, die Stoffe, aus denen sie bestehen, oder ihre Bildungsmaterien, waren vorher in irgend einer Form im Protoplasma vorhanden. Das

ungeformte Protoplasma der Zelle mit dem Kern, die »vorzugsweise lebende Substanz« KÖLLIKER's, die »Keimsubstanz der Zelle« LIONEL BEALE's (germinical matter), umgibt sich in der Folge des Zellenlebens mit »geformter Materie« (formed material), das mehr erhärtend aus der lebhaften Stoffbewegung des Protoplasmas heraustritt. So entsteht die Zellmembran, die Zellkapsel, die »Zwischensubstanz« des Bindegewebes, in welchen noch neue Differenzirungen chemischer Art, Haut- und Schichtbildungen von abwechselnd verschiedenem Wassergehalt der geformten Materie oder elastischer Erhärtung derselben auftreten können. Es liegt dann in einem verschieden dicken Hof »geformter Materie« der Zellkern in seinem Protoplasmarest eingebettet, welche zusammen immer noch das eigentlich Wesentliche der Zelle darstellen.

Das Protoplasma hat die Fähigkeit, sich mit Flüssigkeiten zu imbibiren oder zu mischen, während des Lebens in nur geringem, wechselndem Grade. In dem Zustande der höchsten Lebensenergie scheidet es activ aufgenommene Flüssigkeiten entweder nach aussen ab, sodass sich dadurch seine Masse verringert, oder die Abscheidung geschieht in das Protoplasma selbst, wodurch dann mit wässeriger Flüssigkeit erfüllte Hohlräume im Protoplasma entstehen. Das Protoplasma bekommt dadurch eine Art von zusammengesetztem Bau (BRÜCKE). Durch partielle Contractionen des Protoplasmas können die wässerigen Inhaltsmassen mit ihren körnigen Einschlüssen hin und her bewegt werden. In Folge innerer Veränderung des Protoplasmas saugt es oft mit einem Mal seine Höhlenflüssigkeiten in sich ein, um sie später langsamer wieder abzuscheiden.

Die ausgebildete, in sich abgeschlossene Zelle lässt sonach (J. SACHS) eine Anzahl concentrisch gelagerter, chemisch und physikalisch verschiedener Schichten: feste, halbfeste, flüssige unterscheiden. In der jugendlichen Zelle, die nur aus undifferenzirtem Protoplasma bestehen kann, ist die Fähigkeit zu dieser Schichtenbildung das Charakteristische.

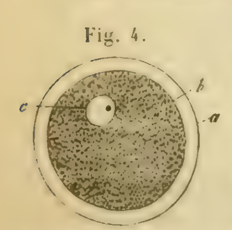
Es fragt sich aber, ob es zweckmässig ist, so verschiedene Gebilde unter dem einen Namen: Zelle zu vereinigen. Man spricht auch von Larve und vollkommenem Insect als zweierlei, und analog verhält es sich ja mit den Protoplasten (oder Cytoden) und den daraus sich bildenden Zellen, Zwischenmaterien, Fasern etc. (v. BISCHOFF).

Die Eizelle.

Das reife Ei des Menschen und der Säugethiere wird meist als der Typus der animalen Zellen betrachtet, man nennt es in diesem Sinne Keimzelle.

Das menschliche Ei besitzt vollkommene Kugelgestalt. Sein Durchmesser beträgt 0,18—0,2 mm. Sein zähflüssiges, körniges Protoplasma wird als Dottermasse bezeichnet. Sie ist umgeben mit einer ziemlich dicken, farblosen, glasartig durchsichtigen Hülle, der Zona pellucida. Eingebettet in das Protoplasma liegt ein helles Bläschen, das Keimbläschen (40—50 μ), das man als Zellkern anzusprechen pflegt. In ihm zeigt sich eine körnige dunklere Masse, der Keimfleck (5—7 μ), als Kernkörperchen. Von den anderen animalen Zellen unterscheidet sich das Ei zunächst durch seine bedeutendere Grösse, die es dem unbewaffneten Auge noch sichtbar macht, während fast alle animalen Zellen sonst nur mit Hülfe des Mikroskops zu erkennen sind, im Durchschnitt von 0,01—0,02 mm Grösse.

Fig. 4.

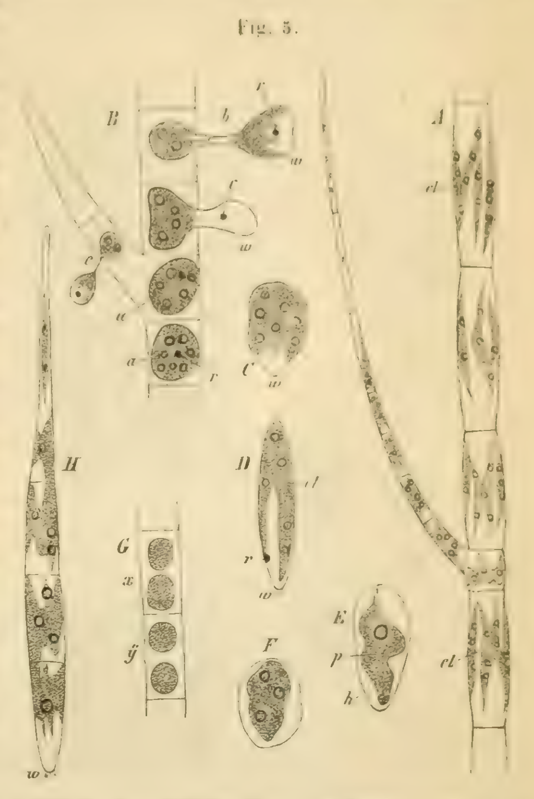


Ovulum des Menschen aus einem mittelgrossen Follikel, 250mal vergr. *a* Dotterhaut, Zona pellucida, *b* äussere Begrenzung des Dotters und zugleich innere Grenze der Dotterhaut, *c* Keimbläschen mit dem Keimflecke.

Neuerdings versuchte man wieder an dieser Auffassung des reifen Säugethier-Eies als Zelle zu rütteln. Nur im ersten Stadium der Bildung, als sogenanntes Primordialei, soll es eine einfache Zelle sein, während an dem reifen Ei die Zona, welche von dem Eisäckchen abgesondert werde (PFLÜGER), und sogar ein Theil des Dotters als »secundäre« Bildungen angesprochen werden (Cap. 27). GÖTTE erklärt

das Ei für keine Zelle, sondern geradezu für eine unorganisirte Masse. Nach seinen Beobachtungen am Bombinator igneus entsteht das Ei dieser Thiere nicht aus einer Zelle, sondern durch Verschmelzung mehrerer Zellen, und der Dotter bildet sich durch Absonderung der Eifollikelwand. His lehrt gegen Gegenbaur und Waldeyer, dass bei Fischeiern ein Theil des Dotters aus in das Ei eingewanderten Bindesubstanzzellen des Eierstocks abstamme. Der Säugethierdotter differenzirt sich in einem homogenen, mehr flüssigen und einen körnigen Abschnitt, welcher theils dunkle fettähnliche Kugeln verschiedener Grösse, theils kleinste, blasse Körnchen zeigt; Pflüger vermuthet auch einen functionellen Unterschied beider Dottermassen. v. Bischoff hält an der Deutung des Keimbläschens als erster Zelle fest, alles Andere seien sekundäre, diese wahre Keimzelle umlagernde Bildungen. Das reife Ei wäre demnach gewissermassen mit einem complicirteren Organismus zu vergleichen. Aber ist nicht wohl jede Zelle ein solcher? Zur Definition einer Zelle gehört es keineswegs, dass das Gebilde aus einer Mutterzelle etwa durch Theilung entstanden sei, sehr vielfach entstehen die einfachen Elementarorganismen aus Verschmelzung mehrerer Zellen.

Fig. 5.



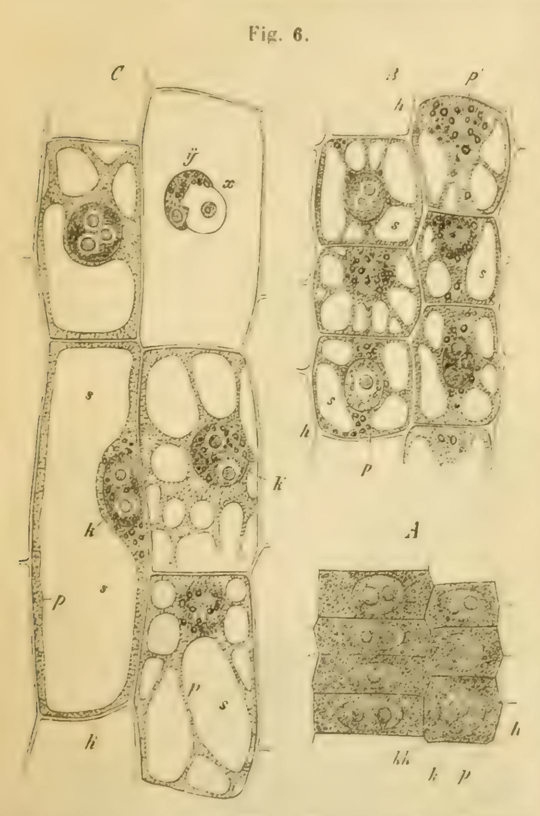
Stigeoclonium insigne (nach Nägeli, Pflanzenphysiolog. Untersuchungen Heft I); *A* ein aus einer Zellenreihe bestehender Ast der Alge mit einem Seitenzweig; *cl* sind grün gefärbte Protoplasmagebilde (Chlorophyll), welche dem farblosen, in der Zeichnung nicht sichtbaren Protoplasmaschlauch jeder Zelle eingebettet sind; *B* die Protoplasmakörper der Zellen contrahiren sich und treten durch Oeffnungen der Zellhäute hinaus; *C* Schwärmspore noch ohne Haut; *D* eine solche zur Ruhe gekommen, bei *E* und *F* getödtet; das Protoplasma *p* zieht sich zusammen und lässt die neugebildete Zellhaut *h* erkennen; *H* eine junge, aus der Schwärmspore erwachsene Pflanze; *G* zwei Zellen eines Fadens, die in Theilung begriffen sind. Der Protoplasmakörper jeder Zelle (*x* und *y*) ist einstweilen in 2 gleiche Theile zerfallen und durch ein zugesetztes Reagens contrahirt.

Zur vergleichenden Anatomie. — Kölliker nennt einfache Eier solche, die einer einzigen Zelle entsprechen und bei denen der Bildungs- und Ernährungsstoff des Embryo, der Dotter, ganz und gar den Werth eines Zelleninhalts besitze: primärer Dotter. Diese Eier bezeichnet man als holoblastische oder meroblastische (Remak), je nachdem sie nur aus Bildungsdotter (Säugethiereier) oder aus Bildungsdotter und Nahrungsdotter (Vogeleier) bestehen, daher entweder eine totale oder eine partielle Furchung (cf. unten) zeigen. — Die Eier vieler niederen Thiere aus den Abtheilungen der Würmer, Mollusken, Echinodermen, Polypen schliessen sich dem Typus der Säugethiere an, andere finden wir meroblastisch, noch andere zusammengesetzt. Bei den Insecten entspricht das Ei theils einer einfachen Zelle (Orthoptera, Libelluliden, Puliciden), theils entsteht das Ei durch Zusammentritt mehrerer Zellen. Die eine derselben ist die wahre Eizelle, die sich mit dieser verbindenden bezeichnet Leydig als Keimzellen, andere als Dotterbildungszellen (Stein) oder Einährzellen (H. Ludwig). Huxley und Weismann sahen mehrfach die letzteren Zellen mit der Eizelle zu einem einheit-

lichen Körper verschmelzen. Bei den Aphiden ergiesst sich der Inhalt der Keimzellen durch besondere hohle Stiele in die Eizelle (Huxley, Claus, Leydig). Auch bei verschiedenen Wurmerabtheilungen entsteht das Ei als ein zusammengesetztes Gebilde.

Die Zellen der Pflanzen sind in ihrem Verhalten den thierischen Zellen analog. Man hielt früher das Vorkommen einer äusseren Zellmembran aus Cellulose bestehend bei den ersteren für einen durchgreifenden Unterschied zwischen Pflanzen- und Thierzellen. Doch zeigt sich auch hier keine scharfe Scheidungslinie zwischen Pflanze und Thier. Bei niederen Thieren ist Cellulose mit all ihren von der Pflanzenzelle her bekannten Eigenschaften aufgefunden worden, doch nicht als Zellmembran. Nach den Untersuchungen von Löwig und Kölliker scheint ihr Vorkommen auf die Tunicaten beschränkt zu sein. Man hat Cellulose nachgewiesen: im Mantel der Phallusia mammillaris, in der knorpeligen Hülle der einfachen Ascidien, in dem lederartigen Mantel von Cynthien, endlich im äusseren Rohr der Salpen.

Fig. 6.



Parenchymzellen aus der mittleren Schicht der Wurzelrinde von Fritillaria imperialis; Längsschnitte nach 550maliger Vergrösserung. A dicht über der Wurzelspitze liegende, sehr junge Zellen, noch ohne Zellsaft; B die gleichnamigen Zellen, etwa 2 Millimeter über der Wurzelspitze, der Zellsaft s bildet im Protoplasma p einzelne Tropfen, zwischen denen Protoplasmawände liegen; C die gleichnamigen Zellen etwa 7—8 Millimeter über der Wurzelspitze; die beiden Zellen rechts unten sind von der Vorderfläche gesehen: die grosse Zelle links unten im optischen Durchschnitt gesehen; die Zelle rechts oben durch den Schnitt geöffnet: der Zellkern lässt unter dem Einfluss des eindringenden Wassers eine eigenthümliche Quellungserscheinung wahrnehmen (x y) (Sachs).

Auch bei den Pflanzenzellen spielt das Protoplasma die Hauptrolle. Es ist eiweissreich, hat die Fähigkeit der Contractilität in analoger Weise wie das thierische Protoplasma, die chemische Zusammensetzung ist übrigens bei beiden mit Ausnahme des Eiweissgehaltes doch nicht unwesentlich verschieden, insofern bei der Pflanzenzelle die Cellulose ein gewöhnlicher Bestandtheil ist, die, wie erwähnt, in der Thierzelle nur in ganz einzelnen Fällen vorkommt. Auch die Bestandtheile des Zellsaftes sind in beiden Reichen meist ziemlich different.

Die Entstehung der Schwärmsporen der Algen und mancher Pilze zeigt uns die Selbständigkeit des Protoplasmakörpers von dem Werth einer Zelle sehr deutlich. Nach den Untersuchungen von Nägeli zieht sich z. B. bei Stigeoclonium insigne (Fig. 5) das mit Zellsaft erfüllte Protoplasma einer Zelle zusammen, lässt das Wasser des Zellsaftes austreten und bildet einen soliden, rundlichen Klumpen, der nun durch eine Oeffnung in der Zellhaut entweicht und durch innere Kraft getrieben im Wasser umherschwimmt. Während seines Austrittes ist er weich und dehnsam, aber einmal frei geworden nimmt er eine specifisch bestimmte, durch innere Kräfte bedingte Gestalt an. Meist nach einigen Stunden kommt die Schwärmspore zur Ruhe und lässt nun eine Cellulosemembran erkennen, die ihr anfänglich fehlte, sie beginnt nach weiteren Differenzirungen im Innern

zu wachsen. Die Pflanzenzelle wird also auch wesentlich von dem Protoplasmakörper gebildet, dieser selbst ist eine nackte, primordiale Zelle, er verhält sich zur ausgebildeten Pflanzenzelle wie die Larve zum fertigen Insect, welches sich reicher gegliedert aus jener entwickelt (Sachs). Die Organe der Pflanzenzelle scheiden sich aus dem Protoplasma ab, in welchem sie also vor diesem Abscheiden in irgend einer Weise gelöst waren. Die fertige Pflanzenzelle (Fig. 6) zeigt sich in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle in saftigen Pflanzentheilen zusammengesetzt aus drei concentrisch gelagerten Schichten, zuerst einer äusseren, festen, elastischen, aus Cellulose bestehenden Zellmembran. Dieser liegt im Inneren eine zweite ebenfalls allseitig geschlossene, jedoch nicht einfach bläschenartige Schicht an, deren Substanz aus Protoplasma (Mohl) besteht. Innerhalb dieser zweiten Zellschicht finden sich meist noch andere Protoplasmaportionen als Platten und Stränge. Bei den höheren Pflanzen liegt ausnahmslos in das Protoplasma eingebettet ein rundlicher Körper, chemisch dem Protoplasma sehr ähnlich: der Kern. In jugendlichen Zellen erfüllt Protoplasma und Kern den inneren Zellraum im Protoplasma ganz, später scheidet sich im Protoplasma wässerige Flüssigkeit: Zellsaft aus. Ausserdem kommen in den Zellen der Pflanzen sehr gewöhnlich noch dem Protoplasma zugehörige körnige Einschlüsse vor, von denen die den Pflanzen ihre grüne Farbe ertheilenden Chlorophyllkörper die wichtigste Rolle spielen (Sachs).

Entstehung der Zelle.

Die Annahme, dass die Zelle als der Grundtypus der Organisation anzusehen sei, fand eine Zeit lang Widerstand von Seite ausgezeichneter Forscher und Gelehrten. Es scheint, dass der Grund dafür in dem anspruchsvollen Gebahren dieser Lehre im ersten Anfange ihres Auftretens zu suchen ist. Sie hatte, obwohl nun auf exacte Forschung und wirkliche Beobachtung gestützt, doch noch etwas von dem Gewande der Naturphilosophie an sich, welche sie der Beobachtung vorgreifend auf speculativer Grundlage aufgestellt hatte. Nach der Lehre Oken's entständen die Urbläschen, Infusorien, aus einem flüssigen unorganisirten Bildungsmateriale, das die chemischen Stoffe, aus welchen sich der primitive Organismus zusammengesetzt zeigt, in Lösung erhält. Dieselbe Anschauung wurde von Schwann und Schleiden über die Entstehung der Zelle vorgetragen. Man schien das Geheimniss der Entstehung der Organisation aus den unorganisirten Grundstoffen erschlossen zu haben. Ist man einmal im Stande, die Bildung der Zelle zu erklären, so ist es leicht, durch Vermehrung und vielfache Verzweigung derselben, wie es die Naturphilosophie gethan hatte, die Entstehung der complicirtesten Organismen anschaulich zu machen. Auch die übrigen Lebensvorgänge schienen weniger unbegreiflich, wenn man sie in diese kleinen belebten Urtheilchen verlegen konnte. Dem damals herrschenden Vitalismus schien es, als würde den Lebenskräften, die man die Wunder der Organisation verrichten liess, ihr Geschäft erleichtert gleichsam durch Vervielfältigung der Etappen, durch Kleinheit des Bezirks, in welchem sie feindlichen anorganischen Kräften entgegen die organischen Aufgaben zu erfüllen hätten (E. du Bois-Reymond). Es schien, als wenn das Mikroskop das alte über den Lebenserscheinungen schwebende Dunkel verscheucht hätte. Die mikroskopische Entdeckung der einheitlichen Organisation der Thiere und Pflanzen bringt uns jedoch selbstverständlich, sobald es sich um letzte Erklärungen handelt, um keinen Schritt weiter, mögen wir die Lebenserscheinungen nun in die mikroskopischen Zellen und Zellgebilde verlegen, oder mögen wir uns nur an die Leistungen der grösseren

organisirten Massen halten. Wir Mikroskopiker befinden uns, sagt Leydig, wie mir däucht, leider in gleichem Falle mit Einem, der ‚das Leben‘ etwa einer Wiese, eines Waldes eine Zeit lang von einem fernen Standpunkt aus studirte und nun glaubt, es würde sich ihm ein besseres Verständniss von dem Wachsen, von dem Grünwerden, sich Entfärben aufthun dadurch, dass er näher tritt, um die einzelnen, die grünende Fläche zusammensetzenden Pflanzenarten ins Auge fassen zu können. Allerdings wird er jetzt mancherlei interessante neue Beobachtungen machen, aber in der Hauptsache bleibt das Räthsel von vorhin: er steht noch immer vor denselben Fragen, nur mit dem Unterschied, dass er die Veränderungen gegenwärtig an jedem Pflanzenindividuum ebenso gewahrt, wie zuvor an der grossen grünenden Fläche.

Nach Schwann's Lehre unterschied man zwei verschiedene Bildungsarten der Zellen: eine sogenannte freie Entstehung und eine Erzeugung unter Betheiligung anderer Zellen, sogenannter Mutterzellen. Bei der ersteren Entstehungsart sollten die Zellen um freientstandene (freie) Kerne in der Bildungsflüssigkeit sich erzeugen.

Man pflegte mit Rücksicht auf die gelehrte freie Entstehung die Zellen mit Krystallen zu vergleichen und nannte die Form der Zelle die Krystallisationsform der höheren organischen Stoffe. Man dachte sich die Zelle ebenso durch Niederschläge aus dem flüssigen Bildungsstoffe entstanden, wie die Krystalle sich bilden. Es sollten in der Flüssigkeit, welche die chemische Elementarzusammensetzung der Zelle enthielt — dem Cytoblastem — zuerst Molecularkörnchen entstehen. Einige von diesen kommen näher an einander zu liegen und beginnen damit eine Art Mittelpunkt für die zerstreut umliegenden Körnchen zu bilden. Diese lagern sich von dem Centrum angezogen immer näher kugelig an dieses an. Nach und nach — den Stichwörtern der Entstehungshypothesen — consolidiren sich die im Mittelpunkte liegenden Körnchen mehr und mehr und erhärten zuletzt zum Kerne, der nun als neuer Attractionsmittelpunkt wirkt bis zur Bildung einer vollkommenen Zelle. Nach Schwann sollte die freie Zellbildung mit Ausschluss von Mutterzellen im Gegensatz zu den Pflanzen die häufigere Art der Zellbildung bei den Thieren sein.

Den ersten Widerstand erfuhr diese Entstehungshypothese, die mit der Generatio aequivoca identisch ist, im Jahre 1840 durch die Erklärung Reichert's, dass er bei Embryonen nirgends das behauptete Cytoblastem finde. Im Jahre 1844 konnte es Kölliker aussprechen, dass alle Zellen der Embryonen von den Furchungskugeln, den ersten Abkömmlingen der Eizelle, abstammen, was durch Reichert bestätigt wurde. Den Todesstoss erhielt diese Lehre durch die Untersuchungen Virchow's, vor allem über die Betheiligung der Bindegewebszellen an den pathologischen Zellenneubildungen. Jeden etwa noch bleibenden Zweifel beseitigen endlich die neuen Beobachtungen über die Wanderung von Zellen in den Geweben durch von Recklinghausen (Wanderzellen) und die Auswanderung rother und weisser Blutzellen aus den Blutgefässen (Stricker und Cohnheim). Die nachgewiesenen Beziehungen dieser Wanderungen der Zellen zur Eiterung entfernte die letzten Stützen, mit denen man die Ansicht von der freien Zellbildung halten zu können hoffte.

Es ist nicht zu läugnen, dass sich die Lehre von der freien Zellbildung auf mikroskopische Beobachtungen zu stützen scheint. Man sieht wirklich unter Um-

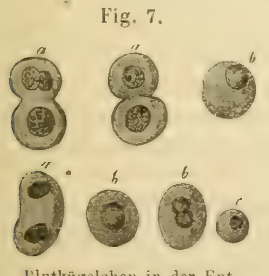
ständen in Flüssigkeiten, welche die gewöhnlichen chemischen Bestandtheile der Zellen enthalten, z. B. in Flüssigkeiten von Brand- oder Vesicatorblasen, mikroskopische Bilder, welche der oben gegebenen Darstellung vollkommen zu entsprechen scheinen. Man darf aber nicht die Stadien eines endlichen Zerfalles nicht mehr lebensfähiger, abgestorbener Zellen in Flüssigkeiten für den Ausdruck einer Neubildung aus den Urstoffen nehmen. Die Auflösung der Zellen hat als Schlussstadium den Zerfall in kleine, moleculare Körnchen, welche sich als letzte Zeugen einer ehemaligen Organisation endlich auch verflüssigen[1].

Von dem Gedanken, dass die Zelle die Krystallisationsform der höheren organischen Stoffe sei, befreite uns definitiv die Beobachtung, dass die höchstzusammengesetzten organisch-chemischen Stoffe eine wirkliche Krystallform annehmen können (cfr. Cap. II.)

Die Wissenschaft kennt keine freie von Mutterzellen unabhängige Zellenbildung: omnis cellula e cellula (Virchow 1855).

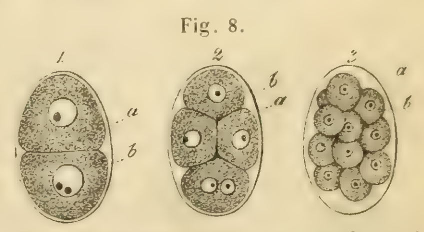
Der wirklich beobachtete Vorgang der Entstehung neuer, junger Zellen erinnert an die Fortpflanzung niederer Thiere. Man kann eine Vermehrung der Zellen durch einfache Theilung und durch endogene Theilung (Kölliker) unterscheiden. Der Vorgang der Zellenvermehrung geht von dem Zellenkerne aus. Dieser bekommt bei der einfachen Zelltheilung entweder, wie es scheint, eine Furche, die an Tiefe zunehmend ihn endlich in zwei Theile, zwei Kerne zerfallen lässt, oder es löst sich der Kern in dem Protoplasma zuerst auf, und es scheiden sich dann zwei neue Kerne aus (Fig. 7). So entstehen

Fig. 7.



Blutkügelchen in der Entwickelung.

Fig. 8.



Drei Eier von Ascaris nigrovenosa, 1 aus dem zweiten, 2 aus dem dritten und 3 aus dem fünften Stadium der Furchung mit 2, 4 und 16 Furchungskugeln; *a* äussere Eihülle, *b* Furchungskugeln. In 1 enthält der Kern der untern Kugel zwei Nucleoli, in 2 die unterste Kugel zwei Nuclei.

nun in der Zelle zwei wirksame Mittelpunkte, welche sich in die Gesammtmenge des Protoplasmas theilen. Es geht die vollkommene Trennung der beiden Zellen dann meist so vor sich, dass sich der Zelleninhalt um die Kerne abschnürt, so dass auf diese Weise zwei neue Zellen aus der Mutterzelle entstanden sind. Dieser Theilungsact wurde zuerst von Remak (1841) von den rothen Blutzellen der Embryonen behauptet. Man findet die rothen, kernhaltigen Blutzellen bei

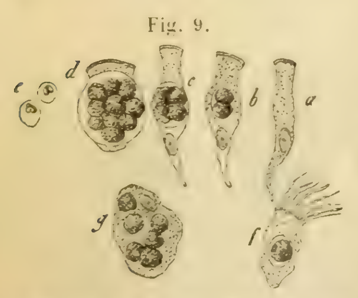
---

[1] Eine andere Anschauung über die Entstehung der Zellmembran bei der freien Zellenbildung dachte sich dieselbe durch Imbibition von Flüssigkeit in der Kernmasse entstanden, wodurch die äusseren Theile von den inneren abgehoben und blasenartig ausgebuchtet würden, wie man derartige Vorgänge durch Einbringen organischer Stoffe in sehr verdünnte wässerige Lösungen künstlich hervorrufen kann (M. Traube).

Embryonen von Hühnern, Säugethieren und vom Menschen in allen Stadien der Kerntheilung und des Zerfalles, mit 1—2—4 Kernen und mehr oder weniger eingeschnürt bis zur gänzlichen Trennung in anfangs noch sehr nahe an einander liegende Zellen. Kolliker, der Remak's Angaben bestätigte, konnte die Zelltheilung auch an den Elementen der Milzbläschen, Milzpulpe, den Lymphdrüsen, den Markzellen der wachsenden Knochen etc. nachweisen. Manchmal gestaltet sich der Vorgang etwas anders, und man beschreibt ihn dann als eine Knospen- oder Sprossenbildung. Auch hierbei geht die Theilung von dem Zellkerne aus. Es entstehen zuerst an Stelle des einfachen Kernes mehrere, und diese legen sich an verschiedenen Stellen der Zellenwandung an, wodurch diese an den Anlagerungsstellen anfänglich knopfförmig ausgebuchtet wird. Diese Abschnürungen wachsen und trennen sich mehr und mehr von der Mutterzelle ab: die Verbindung mit letzterer wird stielförmig ausgezogen, bis sich endlich die neuentstandene Tochterzelle ganz von der Mutterzelle abgelöst hat.

Die zweite Art der Zellentstehung wird nach Kölliker die endogene Zelltheilung genannt. Er rechnet hierher die Fälle, in denen die Vermehrung der Zellen innerhalb der Zellmembran der Mutterzelle vor sich geht. Hierher gehört vor allem die Furchung und die Vermehrung der Knorpelzellen, ausserdem noch eine Anzahl pathologischer Vorgänge, bei denen sich aus einer Zelle eine Brut neuer Zellen entwickeln kann, welche einen ganz anderen Charakter erkennen lassen, als die Mutterzelle. Die letzteren Beobachtungen beziehen sich vor allem auf die Bildung von Eiterkörperchen im Zellinhalte der verschiedensten Zellen bei entzündlichen Zuständen (Fig. 9). Es ist wahrscheinlich, dass auch diese Zellbildung auf Zellkerntheilung beruht, wie die beiden angeführten physiologischen Zellbildungen, wenn wir hier nicht an eine Einwanderung der Eiterkörperchen in jene Zellen denken müssen.

Fig. 9.

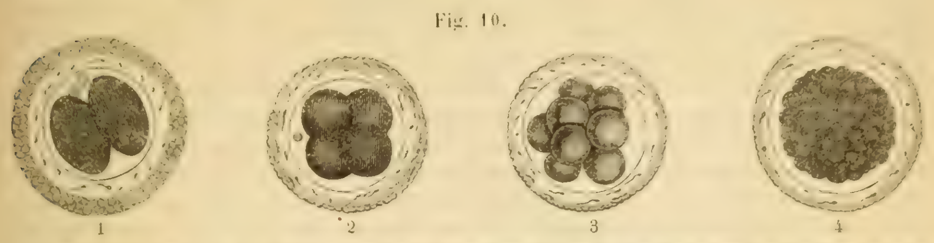


Die Bildung von Eiterkörperchen im Innern von Epithelialzellen aus dem menschlichen und Säugethier-Körper. *a* Einfache Cylinderzelle des Gallenganges vom Menschen; *b* eine solche mit 2 Eiterzellen, *c* mit 4 und *d* mit vielen dieser Inhaltszellen; *e* die letzteren isolirt; *f* eine Flimmerzelle aus den menschlichen Athemwerkzeugen mit einem und *g* eine Plattenepithelzelle aus der menschlichen Harnblase mit reichlichen Eiterkörperchen.

Es ist das befruchtete Säugethierei ein sehr geeignetes Object, um an ihm die Zellvermehrung durch Kernvermehrung zu studiren. Der Vorgang dieser primären Eientwickelung wird als Furchung bezeichnet, die aus der Furchung hervorgehenden Zellen als Furchungskugeln oder Furchungszellen. Man sieht zuerst von der Zona pellucida die Dottermasse etwas zurückweichen, das Keimbläschen verschwindet, und es tritt dafür in der Folge ein neuer, ebenfalls bläschenförmiger Kern auf (v. Bischoff), später erkennt man zwei Kerne. Um jedes dieser neuentstandenen Centren gruppirt sich ein Theil des Protoplasmas zu einer kugeligen Masse. Indem die Zahl der Kerne dieser neuentstandenen Furchungskugeln sich wieder und wieder verdoppelt und die neuen Kerne zu Anziehungsmittelpunkten für die Dottermasse werden, entstehen zuerst vier, dann acht, dann sechszehn und so fort neue immer kleiner werdende Furchungskugeln (Fig. 10). Diese lassen anfangs keine eigene Zell-

membran erkennen. Zuletzt ist der ganze Inhalt der Eizelle zu einer neuen Brut kleiner, kugeliger, stark glänzender Zellen zerfallen, welche zu einem maulbeerförmigen Körper zusammengelagert sind. Aus einem Theile dieser

Fig. 10.



1—4. Eier des Hundes aus dem Eileiter, umgeben von der Zona pellucida oder Dotterhaut, auf welcher bei allen Eiern Samenfäden haften. Nach Bischoff.
1. Ei mit zwei Furchungskugeln und zwei hellen Körperchen neben denselben. Die Zona ist noch von den Zellen der Membrana granulosa umgeben. — 2. Ei mit vier Furchungskugeln und einem hellen Korn innerhalb der Zona. — 3. Ei mit 8 Kugeln. — 4. Ei mit zahlreichen kleineren Kugeln.

Zellen baut sich in der Folge der Embryonalkörper auf. Die Furchungszellen theilen und vermehren sich dabei fort und fort und schliessen sich in verschiedener Weise zusammen, wobei sich Gestalt und Inhalt auf das mannigfachste verändern.

Van Beneden und Weil behaupteten neuerdings ein Fortbestehen des Keimbläschens im befruchteten (Säugethier-)Ei und hielten die Kerne der Furchungskugeln für seine directen Theilungsprodukte. Dagegen constatirte Oellacher wieder das Fehlen des Keimbläschens (es werde ausgestossen) in einem bestimmten Stadium der Reife des Hühnerkeim's. Auerbach's Untersuchungen über die Furchung der Eier der Nematoden scheinen zu beweisen, dass stets die Kerne verschwinden, bevor die Furchungskugeln sich theilen, in der neuentstandenen Furchungskugel entsteht dann ein neuer Kern. Auerbach sah nach der Befruchtung der Nematoden-Eier das Keimbläschen zuerst schwinden, dann an entgegengesetzten Polen des sich etwas zusammenziehenden Dotters zwei neue wahre Kerne anfänglich als kleine Vacuolen entstehen. Diese Kerne rücken in die Mitte des Dotters einander entgegen, legen sich an einander, verschmelzen und vergehen. Gleichzeitig entwickelt sich eine ∞förmige helle Centralpartie im Dotter: Karyolytische Figur Auerbach's, deren kugelförmige Enden strahlenförmig, sonnenähnlich ausgezackt erscheinen. Nun beginnt die Theilung der ersten Furchungskugel, und es entstehen jederseits analog wie der erste Kern zwei neue Kerne im Verbindungsstück der »Doppelsonnen«. Vor der weiteren Theilung der Furchungskugeln verschwinden dann stets die Kerne der letzteren wieder, und es wiederholt sich der für die erste Furchungskugel beschriebene Vorgang mit Bildung der karyolytischen Figur. Diese Vereinigung der Kerne vor der Neuanordnung des Protoplasmas erinnert an die Befruchtungsvorgänge der Keimzellen, sie erscheint als eine Art von innerer Befruchtung, eine Auffassung, welche für die gesammte Lehre der Zellvermehrung neue Bahnen zu eröffnen scheint. Wir erinnern an die oben schon angeführten Beispiele von Verschmelzung mehrerer Zellen zu einem neuen Elementarorganismus von höherer Entwickelungspotenz.

Nach analoger Richtung deuten auch andere noch nicht vollkommen aufgeklärte Beobachtungen. Nach Balbiani lässt sich in dem Ei fast aller Thierklassen auf einem gewissen Stadium der Reife neben dem Keimbläschen noch ein etwas kleinerer, mehr excentrisch gelagerter Kern — Balbiani'scher Kern — nachweisen, welcher nach van Bambeke bei der Reifung noch vor dem Keimbläschen verschwindet. Balbiani selbst nennt das fragliche Gebilde Cellule embryogène, da es eine aus dem Follikelepithel hervorgehende Zelle sei, welche sich mit dem jungen Ei vereinigt, indem es sich in die »Dotterhaut« invaginirt. Diese »embryobildende Zelle«

soll nach Balbiani der eigentliche Keim sein, während der Dotter nur Ernährungsgeschäfte zu verrichten habe. Weiteres cfr. unten.

Zur vergleichenden Physiologie. — Ueber partielle Eifurchung cfr. unten und bei »Bildung der Keimblätter und Entstehung der Gewebe«.) Bei den Pflanzen hat man mit grosser Genauigkeit die Entstehung der Zellen verfolgen können. Da bei dem genaueren Studium der physiologischen Vorgänge die Pflanzen- und Thierzelle immer mehr Analogien erkennen lassen, so ist es interessant, die bei der Neubildung der Pflanzenzellen gewonnenen Resultate mit den für die Thierzelle festgestellten zu vergleichen. Nach J. Sachs beginnt die Entstehung einer neuen »Pflanzenzelle« immer mit der »Neugestaltung« eines Protoplasmakörpers um ein neues Bildungscentrum; das Material dazu wird immer von schon vorhandenem Protoplasma geliefert, der neu constituirte Protoplasmakörper umkleidet sich früher oder später mit einer Zellhaut. Diese allgemeinen, der Neubildung aller Pflanzenzellen zukommenden Vorgänge stimmen, wie wir sehen, genau mit den oben beschriebenen Vorgängen der thierischen Zellbildung überein. Im Speciellen werden dann von J. Sachs für die pflanzliche Zellbildung drei Haupttypen aufgestellt: 1) die Erneuerung oder Verjüngung einer Zelle, d. h. die Bildung einer neuen Zelle aus dem gesammten Protoplasma einer schon vorhandenen Zelle, 2) die Conjugation oder die Verschmelzung von zwei (oder mehr) Protoplasmakörpern zur Bildung einer Zelle, 3) die Vermehrung einer Zelle durch Erzeugung von zwei oder mehr Protoplasmakörpern aus einem.

Jeder dieser Typen zeigt mannigfaltige Abänderungen und Uebergänge zu den andern. Bei dem dritten Typus, der Vermehrung der Zelle, sind zunächst zwei Fälle zu unterscheiden, je nachdem zur Bildung der neuen Zellen nur ein Theil des Protoplasmas der Mutterzelle verwendet wird (freie Zellbildung) oder die Gesammtmasse desselben in die Tochterzellen übergeht (Theilung). Dieser letztere bei weitem häufigste Vorgang zeigt nun wieder eine Reihe von Verschiedenheiten: z. B. ob schon während der Theilung oder erst nach ihrer Vollendung Zellhaut ausgeschieden wird.

Diese Eintheilung ist eine sehr vollkommene, und wir können sie fast ganz auf die Vorgänge der thierischen Zellneubildung übertragen.

Die Eintheilung Kölliker's, die wir oben gaben, in einfache und endogene Zelltheilung bezieht sich auf den dritten Typus von Sachs. Auch bei der thierischen Zelle finden wir bei ihrer Vermehrung die für die pflanzliche Zelle in dieser Hinsicht aufgestellten Unterschiede: Zelltheilung mit ihren beiden Modificationen. Bei der einfachen Zelltheilung Kölliker's sehen wir die Gesammtzelle mit ihren oberflächlichen Schichten (Zellmembran) betheiligt. Wie bei den Pflanzen, so beruht auch bei den animalen Organismen die Ausbildung des Gesammt-Körpers, des Zellgewebes, zunächst auf dieser Art der Zelltheilung, sie ist der häufigste Vorgang in beiden Naturreichen. Kölliker's endogene Zellbildung umfasst die weiteren Modificationen des dritten Typus. Wie bei den Pflanzen, so kommen auch bei den Thieren diese betreffenden Vermehrungs-Vorgänge meist im Zusammenhange mit dem sexuellen Leben zur Erscheinung.

Sachs' freie Zellbildung entspricht der partiellen Eifurchung bei Fischen und Cephalopoden, wie sie von Rusconi, Vogt und Kölliker zuerst beschrieben wurde. Hier betheiligt sich zuerst auch nur ein kleiner Abschnitt des Eiprotoplasmas an der Neubildung der aus dem Ei entstehenden Furchungszellen. So »furcht sich« bei den Tintenfischen nach Kölliker von dem Protoplasma des ovalen Eies nur eine kleine Stelle in der Nähe des spitzen Endes. Dass die Furchungszellen oder Furchungskugeln zunächst noch keine Zellmembran erkennen lassen und eine solche erst später erhalten, hat schon Erwähnung gefunden. Bei der Furchung anderer Eier, z. B. des Säugethieres, ist die Verwendung des Protoplasmas der sich vermehrenden Zelle eine totale, und zwar ohne Betheiligung der Ei-Zellhülle (Zona) an dieser Theilung.

Sachs' zweiter Typus der Zellbildung, die Conjugation oder Verschmelzung von zwei oder mehr Protoplasmakörpern zur Bildung einer neuen Zelle, ist bei den Pflanzen in ihrer typischen Form, wobei das gesammte Protoplasma zweier in Grösse nicht verschiedenen Zellen

sich zu einem neuen Protoplasmakorper vereinigt, auf einzelne Gruppen der Algen und Pilze (Conjugaten) zum Zwecke der Fortpflanzung beschrankt, doch kommen bei der geschlechtlichen Fortpflanzung der Kryptogamen ganz analoge Erscheinungen vor, nur dass bei diesen die Grosse der sich zu einer neuen Zelle vereinigenden Protoplasmagebilde eine verschiedene ist. Die kleinen männlichen, beweglichen Befruchtungskorper oder Spermatozoiden der Kryptogamen sind nackte Protoplasmagebilde, denen man den Werth einer Primordialzelle zuerkennt; im weiblichen Organ dieser Pflanzen findet sich eine Zelle, die sich nach aussen offnet; sie enthält einen Protoplasmakörper, der durch die Spermatozoiden befruchtet wird. In sicher beobachteten Fällen (Oedogonium, Vaucheria) verschmelzen diese mit jenen, worauf erst die Neubildung einer Zelle erfolgt. Stets ist die durch Verschmelzung entstandene Zelle eine Fortpflanzungszelle, mit ihr beginnt die Entwickelung eines neuen Individuums. Der gleiche Vorgang, wie er eben für die Kryptogamen beschrieben wurde, findet sich bei der **Befruchtung der Eizelle der Thiere**. Auch hier entsteht eine neue Zelle, welche zu einem neuen animalen Individuum sich entwickeln kann, durch die Verschmelzung heterogener Protoplasmakörper, von denen sich der eine, das Spermatozoid, oder mehrere derselben, da sie hier wie dort in grösserer Zahl eindringen können, in dem Protoplasma der weiblichen Zelle auflösen.

Den ersten Sachs'schen Typus der Zellbildung, die Erneuerung oder Verjüngung einer Zelle, wie sie sich z. B. bei der Bildung der Schwärmsporen bei Oedogonien finden, erkennen wir bei den Thieren in den ersten Stadien der Eientwickelung namentlich in der oben gegebenen Auerbach'schen Beobachtung über Furchung der Nematoden-Eier. Bei der Zellverjüngung bleibt das Material, soweit ersichtlich, dasselbe, es findet aber eine **neue Anordnung** desselben statt, **was bei jeder Zellbildung das entscheidende Moment ist.** Die gelöste reife Eizelle, auch der Wirbelthiere, zeigt vor dem Beginn ihres Vermehrungsprocesses, und zwar auch ohne vorausgegangene Befruchtung (v. Bischoff), eine derartige Erneuerung und Neuanordnung ihres Protoplasmas, indem sich das Keimbläschen in dem Protoplasma auflöst. Dieser **Verjüngungsprozess** wiederholt sich dann auch bei der Vermehrung der Furchungskugeln (v. Bischoff, Auerbach). Bei der »ungeschlechtlichen Zeugung« mag dieser Vorgang der Erneuerung für die Bildung eines neuen Organismus genügen. Bei der »geschlechtlichen Zeugung« kommt zu der Verjüngung der Eizelle noch der Vorgang der Conjugation oder Copulation differenter Protoplasmakörper hinzu, wodurch die schon durch die Verjüngung angeregte Entwickelungsfähigkeit der Eizelle nun eine für die Bildung eines neuen Organismus ausreichende Intensität erlangt. Wir deuteten oben an, dass auch die von Auerbach beobachtete Verschmelzung der Kerne der Furchungskugeln als eine Conjugation oder Copulation differenter Protoplasmakörper, als eine Art von Befruchtung aufgefasst werden muss, wodurch die geschlechtliche mit der ungeschlechtlichen Zeugung noch weiter verknüpft erscheint. Auch das unbefruchtete Ei macht die ersten Stadien der Entwickelung (Furchung) in regelmässiger Weise durch (v. Bischoff), woraus sich der hohe Werth der »Verjüngung« für die Entwickelung der Eizelle ergibt.

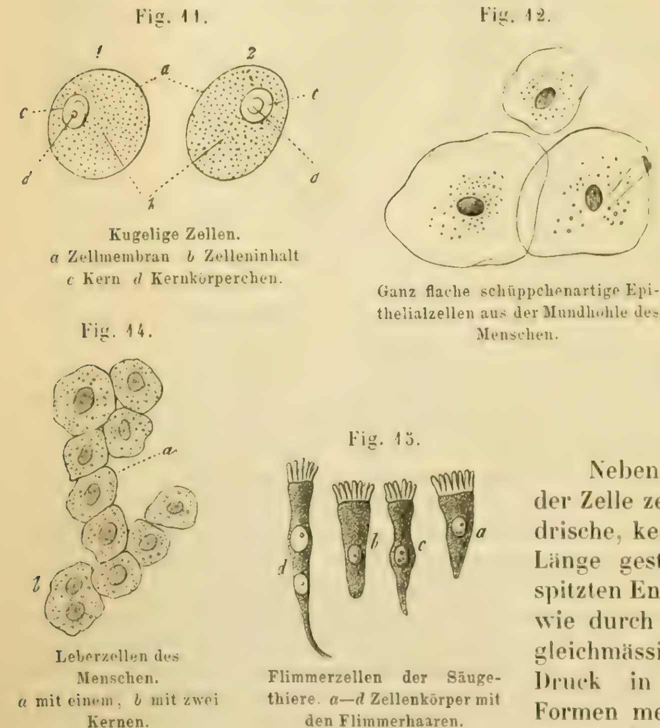
Umbildung der Zellformen.

Anfangs sind alle aus der Furchung hervorgegangenen **Zellen** dem Ei, aus welchem sie entstanden sind, fast vollkommen analog.

Sie stellen wie das Ei Bläschen dar mit einer zarten Membran mit feinkörnigem Protoplasma und meist bläschenförmigem Kerne, in welchem sich ein oder mehrere Kernkörperchen erkennen lassen. Der Hauptunterschied von dem Ei besteht in ihrer mikroskopischen Kleinheit und in einem in den einzelnen Zellen in verschiedenen Richtungen sich aussprechenden individuellen Leben, welches in ihnen nach Gestalt und Inhalt Veränderungen hervorruft, die später ihre Analogie mit der Eizelle fast vollkommen verwischen können.

Schon in Beziehung auf ihre Grösse zeigen in der Folge die den ausgebildeten thierischen und menschlichen Organismus zusammensetzenden Zellen mannigfache Verschiedenheiten. Während viele junge Zellen, z. B. die menschlichen Blutzellen, nur eine Grösse von 0,004—0,006 mm erreichen, zeigen andere wie die Cysten des Samens und die Ganglienkugeln eine Grösse von 0,04—0,08 mm.

In den meisten Fällen, in denen sich eine Gruppe von Zellen zu einem complicirten Organismus vereinigt, verlieren sie ihre ursprüngliche, rundliche Gestalt und nehmen — manchmal scheint dazu schon der Druck zu genügen, welchen sie gegenseitig auf einander durch die Aneinanderlagerung ausüben — mannigfach verschiedene Formen an, an welchen Veränderungen auch der Zelleninhalt in den verschiedensten Modificationen theilnehmen kann.



Kugelige Zellen. *a* Zellmembran *b* Zelleninhalt *c* Kern *d* Kernkörperchen.

Ganz flache schüppchenartige Epithelialzellen aus der Mundhöhle des Menschen.

Leberzellen des Menschen. *a* mit einem, *b* mit zwei Kernen.

Flimmerzellen der Säugethiere. *a—d* Zellenkörper mit den Flimmerhaaren.



Zwei Zellen der unwillkurlichen Muskulatur *a a*; bei *b* die stäbchenartigen Kerne.

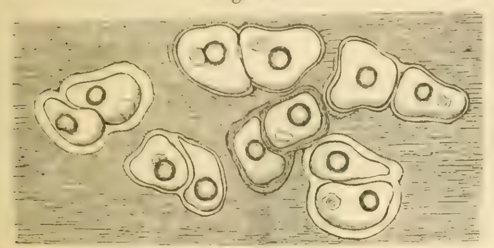
Neben den kugeligen Gestalten der Zelle zeigen sich ovale, cylindrische, kegelförmige, stark in die Länge gestreckte mit fein zugespitzten Enden. Andere erscheinen wie durch einen von allen Seiten gleichmässig auf sie ausgeübten Druck in pseudokrystallinischen Formen meist als ziemlich regelmässige Sechsecke. Andere tragen an bestimmten Stellen *einen* geisel- oder fadenförmigen Fortsatz (Samenzellen) oder eine ganze Anzahl von solchen fadenförmigen Wimperfortsätzen, welche, so lange das Leben der Zelle besteht, eine Fähigkeit zu activen, schwingenden Bewegungen, Flimmerbewegung zeigen. (Figg. 11—15.) Andere sind von unregelmässiger, z. B. zackiger Gestalt, manche mit starren Fortsätzen.

Auch der Kern kann aus seiner typischen, rundlichen Form in die ovale und stabförmige übergehen, bei Insecten kommen Verästelungen des Kernes vor. Manchmal findet sich eine Vermehrung des Zellenkernes, ohne dass sich die Zelle theilt, wie bei gewissen Zellen im Knochenmark und in den quergestreiften Muskelfasern, im Gewebe des Nabelstrangs (Fig. 17). Auch das

Kernkörperchen kann sich an der allgemeinen Umwandlung der Zelle betheiligen. Es können Hohlräume in ihm auftreten, es kann eine längliche Gestalt erhalten etc.

Der Zelleninhalt, das Protoplasma, kann sich in Beziehung auf seine körnigen Einschlüsse und Formelemente ebenfalls sehr mannigfach umgestalten. Es zeigt sich in verschiedenen Zellen mehr oder weniger körnerreich, diese Körner haben sehr verschiedenes Aussehen und differente Dignität: sie stehen manchmal vollkommen regelmässig angeordnet und bekommen in manchen Fällen selbst bestimmtere, regelmässigere Gestalt. Hier und da treten im Protoplasma wahre Krystalle auf. Häufig bilden sich temporäre Vacuolen, Hohlräume im Protoplasma, in welchen sich verschiedene Flüssigkeiten, theils wässerige Lösungen, theils Fette zeitweise ansammeln können, um im weiteren

Fig. 16.



Knorpelzellen aus der weisslichen Schicht der Cart. cricoidea, 350mal vergr. Vom Menschen.

Fig. 17.

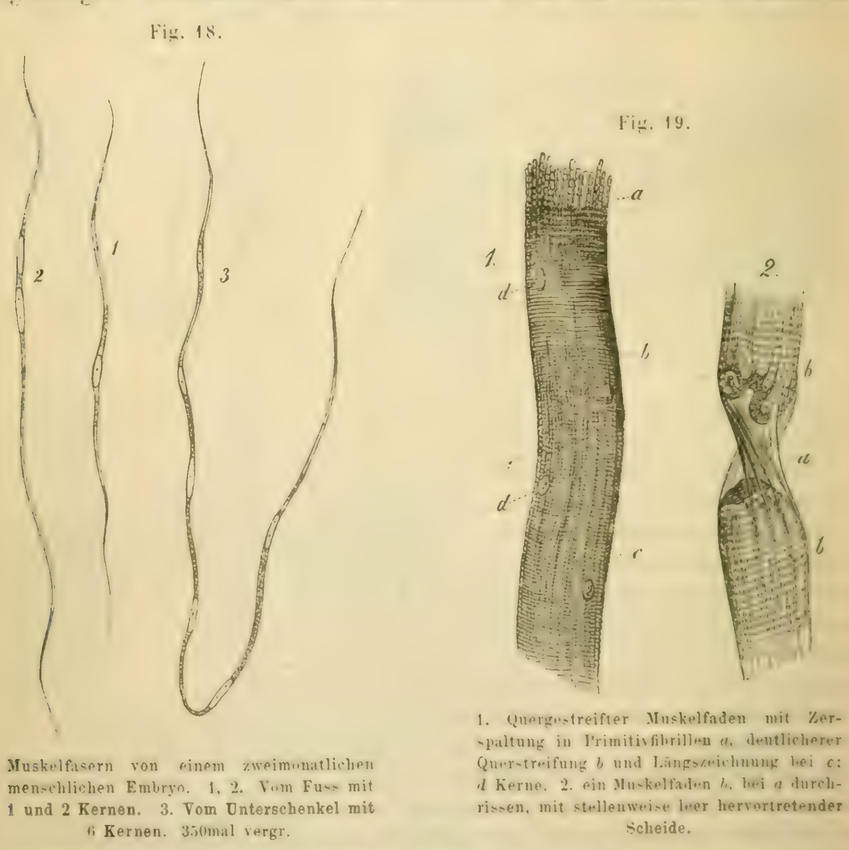


Aus dem Nabelstrange eines 7″ langen Schafembryo, 350mal vergr. 1. Ein Stückchen mit fibrillärer Zwischensubstanz und zusammenhängenden mehr spindelförmigen Bindesubstanzzellen. 2. Von einem Theile, der noch gallertige Zwischensubstanz und mehr sternförmige Zellen enthält. Die Zellen in beiden Fällen fast alle mit mehrfachen Kernen.

Zellenleben dann gelegentlich wieder zu verschwinden, d. h. verbraucht zu werden.

Eine andere Art der Umwandlung der Zelle besteht darin, dass ein Grenztheil des Protoplasmas sich eigenthümlich umändert, so dass sich die Zelle mit einem Hofe morphologisch und chemisch mehr oder weniger umgestalteter Masse umgibt. Die Quantität dieser Zwischenzellenmasse oder Intercellularsubstanz ist in verschiedenen Fällen sehr verschieden. Die Zellmembran und die sogenannten Zellkapseln zählen wir zunächst in die Reihe dieser Protoplasmaumbildungen. Auch zwischen scheinbar direkt neben einander liegenden Gewebszellen lässt sich eine Zwischenmasse oder Kittsubstanz, welche den Zusammenhalt der Zellen unter einander vermittelt, nachweisen. Im Knorpel, im lockeren Bindegewebe und in anderen Geweben werden die Intercellularsubstanzen so mächtig, dass die noch activ beweglich gebliebenen Zellprotoplasmakörper, die Protoplasmareste, die Bildungszellen, d. h. die eigentlichen Gewebszellen mehr oder weniger weit aus einander gerückt erscheinen.

Da die intensiveren Bewegungen des Lebens nur in dem halbflüssigen Protoplasma der Zelle selbst vor sich gehen, so ist es selbstverständlich, dass die mehr oder weniger erhärtete Zwischenmaterie nur einen geringen Antheil an den organischen Vorgängen nehmen würde, wenn sie nicht in der Mehrzahl der Fälle nach einem neuen Principe näher in den Kreis der Stoffbewegung innerhalb der Zelle hineingezogen würde. Wir sehen meist die ganze Zwischenzellenmasse durchzogen von einem Netze feiner Hohlräume, in welche die in die Intercellularsubstanz eingelagerten Zellen nach den verschiedenen Seiten ihrer Oberfläche Fortsätze aussenden, welche oft nach vorausgegangener mannigfaltiger Verästelung die umliegenden Nachbarzellen unter einander in Verbindung bringen. Vermittelst dieser »Saftcanäle« findet ein Verkehr zwischen dem



Muskelfasern von einem zweimonatlichen menschlichen Embryo. 1, 2. Vom Fuss mit 1 und 2 Kernen. 3. Vom Unterschenkel mit 6 Kernen. 350mal vergr.

1. Quergestreifter Muskelfaden mit Zerspaltung in Primitivfibrillen *a*, deutlicherer Querstreifung *b* und Längszeichnung bei *c*: *d* Kerne. 2. ein Muskelfaden *b*, bei *a* durchrissen, mit stellenweise leer hervortretender Scheide.

Inhalte der verschiedenen Zellen statt, und sie ermöglichen es vorzugsweise, dass jede Zelle den sie umgebenden Hof von Intercellularmasse (ihr Zellenterritorium (Virchow)) mit dem nöthigen Nahrungsmaterial versorgt und sein Leben, das an den normalen Bestand seiner Zelle geknüpft ist, erhält. Wir sehen in der directen Communication der Zellen unter einander ein Aufgeben der geschlossenen Zellenindividualität. Manchmal sehen wir die Zellen nur durch wenige, nicht oder nur sparsam verästelte, kleinere Zweige in Verbindung stehen (Fig. 17); bei einigen dagegen, und zwar bei den Nerven-

zellen, sehen wir die relative Masse der Zellenausläufer oder Zellenfortsätze, welchen freilich z. Th. noch eine andere Structur und Bedeutung zukommt als den oben erwähnten Zellenverästelungen, die aber auch verschiedene Zellen derselben Art unter einander verbinden, die Zelle so bedeutend überwiegen, dass letztere oft nur als eine rundliche, kernhaltige Anschwellung der Fortsätze erscheint.

Die Zellmetamorphose und das Aufgeben des Einzellebens der Zellen bleibt wahrscheinlich bei den bisher beschriebenen Umbildungen der Zellform nicht stehen. Die Veränderung kann so weit gehen, dass die Zellenkörper selbst, nicht nur ihre Fortsätze, unter einander verwachsen zu faserigen oder netzförmigen Zügen, dass die einzelnen Zellen ihre Individualität fast vollkommen zu Gunsten einer grösseren Gemeinschaft aufgeben, zur Erreichung weitergreifender Wirkungen, als sie die einzelne Zelle in ihrer Isolirtheit hervorbringen könnte. So nahm man früher allgemein an, dass bei dem quergestreiften Muskelgewebe durch Aneinanderlegung in die Länge ausgezogener Zellen und Durchbrechen der Scheidewände an den Anlagerungsstellen (Fig. 18) cylindrische, langgestreckte Formen entstehen, in denen nur noch die an der früher geschlossenen Membran ansitzenden Kerne die ehemalige Abgeschlossenheit der Individuen zu erkennen geben (Fig. 19). Neuerdings hat man diese Muskelfasern für sehr in die Länge gestreckte einfache Zellen erklärt, bei denen nur eine Vermehrung der Zellkerne eingetreten ist. Für die Bildung der kernhaltigen Hülle der Nervenfasern wird eine Verschmelzung von peripherischen Zellen mit dem aus der Ganglienzelle hervorwachsenden Axencylinder von Kölliker für wahrscheinlich gehalten (cf. Herzmuskulatur).

Bildung der Keimblätter und Entstehung der Gewebe.

Totale Furchung.

Das endliche Resultat der Zellenmetamorphose ist die Bildung der Gewebe, aus denen wir die einzelnen Organe des Körpers zusammengesetzt finden.

Die Gewebsbildung hat ihren ersten Anfang schon in den frühesten Entwickelungsstadien des Eies, in der Bildung der Keimblätter.

Wir haben den Zerfall des Dotters in eine grosse Anzahl kleiner Furchungskugeln kennen gelernt, die anfänglich einen soliden maulbeerförmigen Körper darstellten. Die Weiterentwickelung des Säugethier-Eies schreitet nun in der Art fort, dass diese neuentstandenen Bausteine des späteren Embryo und seiner Hüllen sich in Zellen mit Membran umwandeln, nachdem sie sich unter Flüssigkeitsaufnahme zur Bildung einer einschichtigen grösseren Blase zusammengeschlossen haben. Die Dotteroberfläche gewinnt zuerst nach vollständiger Furchung wieder ein fast homogenes Aussehen, die Furchungszellen sind so klein und besitzen nur so zarte Contouren, dass sie ohne Anwendung mikroskopischer Reagentien kaum mehr in ihrer Trennung wahrgenommen werden können. Später verschwindet dieses homogene Aussehen wieder, und die Dotteroberfläche zeigt eine Mosaik fünf- und sechseckiger, fest verbundener, gegen einander abgeplatteter, ringsum an die Zona pellucida angedrückter, kernhaltiger Zellen (Fig. 20). Die innere

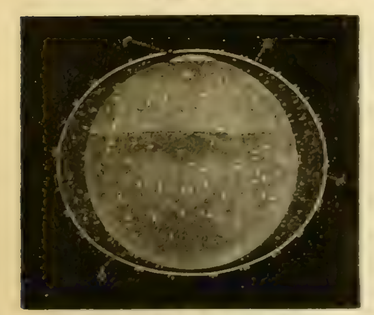
Fig. 20.

Kaninchenei aus dem Uterus, von circa 0,0011 Par. Zoll Grösse, das innerhalb der Zona pellucida die einschichtige Keimblase und im Innern derselben einen Rest nicht verbrauchbarer Furchungskugeln zeigt. Nach Bischoff.

Höhle des Eies ist von Flüssigkeit erfüllt. Nicht alle aus dem Furchungsprocesse hervorgegangenen Zellen werden zur Bildung dieser Blase verwendet. An einer Stelle der Blase zeigt sich eine nach Innen halbkugelig vorspringende Verdickung, welche aus einer Anhäufung von ursprünglich central gelegenen Furchungskugeln besteht, welche nicht zur Bildung der Blase verwendet wurden. An dieser Stelle ist sonach schon in diesem Entwickelungsstadium die Blasenwand mehrschichtig. Die Zellen dieser Wandstelle sind es, welche in der Folge den eigentlichen Embryo bilden. Die aus den verschmolzenen Furchungszellen hervorgegangene Blase trägt den Namen: Keimblase, vesicula blastodermica (Bischoff). In der eben beschriebenen Beschaffenheit bleibt das Eichen zunächst und wächst nur ziemlich rasch durch Vergrösserung der Keimblase, was unter fortgesetzter Aufnahme von Flüssigkeit und Vermehrung ihrer Zellen erfolgt, wodurch die Zona mehr und mehr, endlich zu einer ganz feinen Hülle verdünnt wird.

Hat das Ei eine bestimmte Grösse erreicht — das Kaninchenei 1,65—2 mm —, so beginnt eine Veränderung in ihm vorzugehen, durch welche zunächst die ersten Anlagen der verschiedenen Gewebe des thierischen Organismus gebildet werden. Man bemerkt dann an der Keimblase einen rundlichen Fleck, der sich von der übrigens durchsichtigen Membran durch seine weissliche Farbe auszeichnet. Dieser Punkt wird als Fruchthof, area germinativa, oder Embryonalfleck, area embryonalis (Coste), bezeichnet. Hier bildet sich in der Folge der Embryo. Von dem Fruchthof aus wird die Keimblase nach und nach doppelschichtig, und zwar geht die Bildung der inneren Schicht von dem erwähnten Reste der Furchungskugeln aus, welche wir primär an der Stelle des späteren Fruchthofs an der Innenwand der Keimblase angelagert fanden. Das Kaninchenei erscheint, zu dieser Zeit frisch aus dem Uterus genommen, als ein rundliches hyalines Bläschen, welches durch Zusatz von Wasser als ein Doppelbläschen sich ausweist, indem sich die verdünnte Zona von der Keimblase abhebt. An der Keimblase zeigt sich der Fruchthof schon für das blose Auge als ein weisslicher Punkt sichtbar. Von dem Fruchthofe aus schreitet die Trennung in zwei Blätter immer weiter über die ganze Keimblase fort, so dass diese endlich ganz aus zwei an einander liegenden Schichten besteht (Fig. 21). Der Fruchthof erscheint als eine partielle Verdickung der Wand der Keimblase, und zwar nach Kölliker hauptsächlich nur ihrer obersten Schicht, deren zellige Elemente hier relativ stark vergrössert und von cylindrischer Gestalt erscheinen, während die Zellen der inneren Schicht stark abgeplattet sind. Der Fruchthof besteht in diesem Entwickelungsstadium sonach aus zwei Blättern: Keimblättern, von denen das obere dicker, das untere ziemlich dünn ist. Später bildet sich zwischen diesen beiden Keimblättern noch ein drittes.

Fig. 21.



Kaninchenei aus dem Uterus von $1\frac{3}{4}'''$ Durchmesser, *a* Zona pellucida, *b* Keimblase, *c* Fruchthof, *d* Stelle, wo die Keimblase schon doppelschichtig ist.

Das innerste Blatt der Keimblase: Entoderma, bildet eine ganz ge-

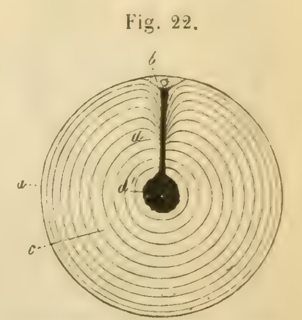
schlossene einschichtige Blase; es entwickelt sich, wie schon angedeutet, aus dem Reste der centralen Furchungskugeln, welche zur Bildung der äusseren Schicht der Keimblase nicht verwendet wurden. Das mittlere Blatt, Mesoderma, reicht nur so weit als der Fruchthof; über seine Bildung und seinen Ursprung herrscht bei den Autoren noch keine vollkommene Uebereinstimmung, während KÖLLIKER dasselbe von dem oberen Blatte (dem Ektoderm) ableitet, bringt die Mehrzahl der übrigen Forscher dasselbe mit der Entstehung des Entoderm in Verbindung, indem die nach der Bildung des Ektoderms übrigbleibenden Furchungskugeln sich theilweise zum Entoderm, der Rest zum Mesoderm gestalten sollen. Das äussere Blatt selbst, das Ektoderma, wird aus der primären äusseren Zellenlage der Keimblase und des Fruchthofes gebildet, welche von der Zeit des Auftretens des Fruchthofes an in dem Bereiche desselben eine Verdickung erkennen lässt, welche auf einer säulenförmigen Vergrösserung der Zellen beruht.

Zur vergleichenden Physiologie der Eifurchung. — Totale Eifurchung findet sich, abgesehen von den Säugethieren, in der Wirbelthierreihe nur noch bei Batrachiern, Stoeren und Petromyzon, aber auch bei diesen dient ein Theil der Furchungskugeln später lediglich als Nahrungsdotter wie der ungefurchte Dotter der Eier mit partieller Furchung. Bei Wirbellosen ist die totale Eifurchung häufig, z. B. Nematoden, Radiaten etc. etc.

Partielle Eifurchung und die Keimblätterbildung im Hühnerei. — Partielle Eifurchung findet sich unter den Wirbelthieren bei Vögeln, Fischen, Reptilien (mit den oben erwähnten Ausnahmen); unter den Wirbellosen zeigen sie die Cephalopoden, die höheren Spinnenthiere und die Crustaceen. Die Furchung der Eier der Batrachier, Störe und Petromyzon bilden Uebergangsformen zwischen den beiden Haupttypen der Furchung.

Als Beispiel der partiellen Eifurchung eines meroblastischen Eies wählen wir das bisher am besten untersuchte Object: das Hühnerei. Wir haben das Eierstocksei von dem gelegten Ei mit seinen in den Genitalleitungswegen hinzugekommenen Umhüllungen zu unterscheiden. In den Kapseln des Eierstocks, welche reife Eier enthalten, findet sich der im allgemeinen als Eidotter bekannte, gelbgefärbte, sphäroidische Körper von einem zarten Häutchen, der Dotterhaut, umhüllt: das Eierstocksei (Fig. 22). An einer Stelle seiner sonst gleichförmigen Oberfläche unterscheidet man einen kleinen scheibenförmigen Fleck, die Keimscheibe; dieses Gebilde entspricht im Ganzen dem holoblastischen Ei der Wirbelthiere. Die Keimscheibe ist eine Protoplasmamasse von linsenförmiger Gestalt, welche ein Keimbläschen, kugelig oder ellipsoidisch etwa 310μ im Durchmesser, dieses wieder ein kleines Körperchen, den Keimfleck, einschliesst. Die Hauptmasse der Eierstockseier bildet der gelbe Dotter, welcher aus Kügelchen von verschiedener Grösse, gefüllt mit stark lichtbrechenden Körnchen wahrscheinlich grösstentheils eiweissartiger Natur, besteht. Der gelbe Dotter wird umhüllt von einer dünnen Lage des weissen Dotters, dessen kugelige Elemente meist kleiner sind als die des gelben Dotters und je ein stark lichtbrechendes, zellkernähnliches Körperchen enthalten. Daneben befinden sich grössere Kugeln, welche eine Anzahl der eben beschriebenen kleinen einschliessen. Der weisse Dotter tritt unter die Keimscheibe, so dass diese auf ihm gebettet erscheint. Ersterer verdickt sich hier und verbindet sich durch einen stielartigen Fortsatz mit einer Anhäufung

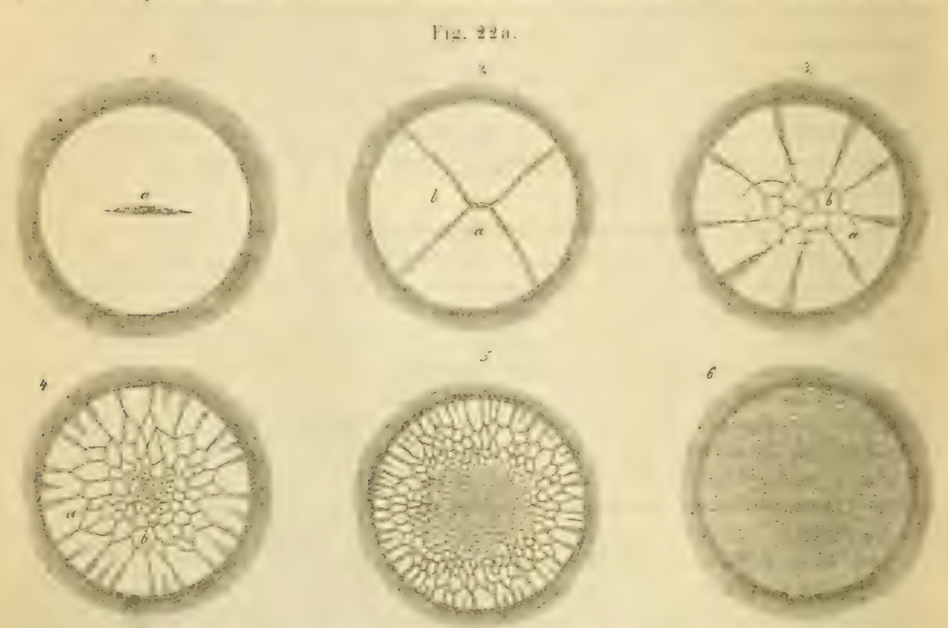
Fig. 22.



Schematischer Durchschnitt durch einen reifen Hühnerdotter. *a* Dotterhaut. *b* Keimschicht oder Bildungsdotter mit dem Keimbläschen. *c* Gelber Nahrungsdotter mit den Schichtungslinien. *d* Weisser Nahrungsdotter mit *d'* der grösseren Ansammlung im Innern des gelben Dotters.

weisser Dottermasse: PANDER'scher Kern, im Centrum des Gesammtdotters. Schmale weisse Dotterschichten durchsetzen auch den gelben Dotter concentrisch mit der Dotteroberfläche. Im oberen Theil des Eileiters erfolgt die Befruchtung der Eierstockseier, das Keimbläschen »verschwindet« und der Gesammtdotter umhüllt sich mit der Eiweissschicht und der bekannten äusseren Eihülle. Bei dem Hühnerei bezieht sich der Vorgang der Furchung wenn nicht ausschliesslich doch vorwiegend auf die Keimscheibe, der Vorgang findet schon im Eileiter ungefähr in der Zeit, in welcher die Schale entsteht, statt. Von oben gesehen theilt zuerst eine querverlaufende Furche die Keimscheibe in zwei Hälften, dann schneidet eine

Fig. 22a.



Sechs Furchungsstadien der Keimschicht des Hühnereies nach COSTE. Alle von Eiern aus dem unteren Theile des Eileiters und dem sogenannten Uterus. Grösse der Keimschicht 3 mm. 1. Keimschicht mit 2 Segmenten, 2. Keimschicht mit 4 Segmenten, 3. dieselbe mit 9 Segmenten und 7 Furchungskugeln, die sich polygonal gegen einander abgrenzen. 4. dieselbe mit 18 Segmenten, von denen einzelne Andeutungen neuer Theilungslinien zeigen, und vielen polygonalen Furchungskugeln, von denen einzelne einen centralen dunkleren Körper (Kern?) zeigen. 5. Keimschicht nahe am Ende der Furchung mit zahlreichen kleinen Segmenten am Rande und sehr vielen Furchungskugeln. 6. Keimschicht mit ganz kleinen gleichmässig grossen Elementen, die zwei Schichten bilden, von denen die untere nicht vollständig ist. Die Elemente einer solchen Keimschicht haben die Natur kernhaltiger Protoplasten, und kann dieselbe nun Keimhaut, Blastoderma, oder Keim heissen.

zweite Furche die erste rechtwinkelig, wodurch die Oberfläche in vier Quadranten getheilt wird, welche je durch eine radiäre Furche halbirt werden. Die centralen Enden jedes dieser 8 Segmente werden nun durch Querfurchen von der übrigen Hauptmasse der Segmente abgeschnitten, so dass 8 central in der Keimscheibe gelagerte Protoplasmakugeln d. h. Furchungskugeln sich von den grösseren Segmenten differenzirt haben. Indem nun nach allen Richtungen auch horizontal in der Tiefe der Keimscheibe (OELLACHER) Furchen auftreten, schreitet die Theilung namentlich in der Mitte rasch fort. Daher sind hier die neugebildeten Furchungskugeln zahlreicher und kleiner als in den peripherischen Partien. Durch wiederholte Theilung zerfällt auf diese Weise endlich die ursprüngliche Keimscheibe in eine über und neben einander geschichtete grosse Anzahl kleiner Furchungskugeln. Die oberflächliche und centrale Partie unterscheiden sich schon jetzt durch ihre kleineren von den peripherischen und tiefer liegenden Schichten, welche aus grösseren Furchungskugeln bestehen; damit beginnt die Scheidung eines oberen Keimblattes von dem Rest der Furchungskugeln.

Die gefurchte Keimscheibe heisst nun Keimhaut; zwischen ihr und dem untergelagerten weissen Dotter bildet sich ein mit Flüssigkeit erfüllter Raum, die Furchungshöhle, aus. Während im Centrum die Furchung vollendet ist, schreitet sie an der Peripherie und in der Tiefe noch fort. Die obere Furchungskugelschicht bildet sich zu einer geschlossenen Haut um, aus eng zusammengefügten, säulenförmigen, kernhaltigen Zellen bestehend, die mikroskopischen Elemente der unteren Schicht bleiben dagegen zunächst noch körnig, mehr rundlich im Zustande von Furchungskugeln und hängen, z. Thl. unregelmässige und lockere Häufchen bildend, netzförmig jedenfalls noch als keine wahre Membran zusammen. Während bis zur Bildung des ersten oberen Keimblattes die Angaben der Autoren über die Entwickelung der Keimhaut im Wesentlichen übereinstimmen, herrscht namentlich in Beziehung auf die Bildung der beiden unteren, namentlich aber des dritten oder Mittelblattes noch keine Uebereinstimmung. Nach KÖLLIKER's Untersuchungen bildet sich das Mittelblatt aus dem oberen Keimblatt, dem Ektoderm, zunächst durch Zellvermehrung in den mittleren Partien desselben. Andere Autoren bringen die Entstehung des mittleren Keimblattes mit dem unteren Blatte in mehr oder weniger nahe Beziehung. Nach FOSTER's und BALFOUR's im Allgemeinen sehr überzeugender Darstellung wird das Mittelblatt im Wesentlichen schon gleichzeitig mit den beiden anderen Blättern angelegt und entsteht wie diese beiden aus speciell ihm zugehörenden Furchungskugeln. Hierbei nehmen F. und B. z. Thl. nach dem Vorgang STRICKER's u. A. active Wanderung und Verschiebungen von Furchungszellen zur Erklärung seiner Bildung zu Hülfe, ohne aber auf diesen noch immer hypothetischen Vorgang allein zu fussen.

Nach STRICKER u. A. entsteht in analoger Weise, wie wir das nach F. und B. oben angegeben, das erste obere Keimblatt, das untere und mittlere entstehen dagegen aus grossen Keimzellen (Furchungskugeln), welche als Vorrath unter der Fläche des ersten Blattes zurückgeblieben waren. Zu diesem Zweck werden diese Zellen z. Thl. im Laufe der Eientwickelung activ (STRICKER) oder passiv (GOBULEW) von unten nach oben verschoben, um in ihre spätere normale Stellung zu kommen. Die Furchungszellen zeigen lebhafte amöboide Bewegungen (E. KLEIN u. A.). Sehr anschaulich schildern FOSTER und BALFOUR diesen Vorgang der Bildung des Mittelblattes in den ersten Stunden der Bebrütung. Während der Ausbildung des oberen und unteren Keimblattes, welche noch im Eileiter erfolgt, haben sich einige grosse Furchungskugeln: Bildungszellen, von den übrigen abgesondert und auf den Boden der Furchungshöhle (cf. oben) gelegt. Die Weiterentwickelung beginnt zunächst mit der Bildung einer wahren geschlossenen, aus Zellen bestehenden Membran des wahren unteren Keimblattes aus dem unter dem schon fertig gebildeten oberen Keimblatt gelegenen, noch ziemlich ungeordneten Furchungskugelreste. Die an dessen unterer Grenzschicht gelegenen mikroskopischen Elemente flachen sich hierbei ab, verlieren ihr körniges Aussehen und zeigen einen deutlichen Kern. Zwischen diesem nun schon früher definitiv abgegrenzten unteren Keimblatte bleiben noch zahlreiche bisher nicht verbrauchte Furchungskugeln übrig, ausserdem fangen die »Bildungszellen« an, vermöge amöboider Bewegungen über den Rand des unteren Keimblattes hinüber zu kriechen und in den schon zahlreiche Furchungskugeln enthaltenden Zwischenraum zwischen diesem und dem oberen Blatt einzuwandern. Die in dem Zwischenraum zwischen dem oberen und unteren Keimblatte befindlichen Furchungskugeln vermehren sich durch Theilung und schliessen sich, endlich zu wahren Zellen umgewandelt, zum Mittelblatt zusammen. Es existirt nach dieser Darstellung schon von den frühen Furchungsstadien an eine Sonderung der Furchungskugeln je für die einzelnen Blätter. Zuerst bildet sich das obere Keimblatt durch Entwickelung der Furchungskugeln zu Zellen zu einem wahren animalen Gewebe um, der mehrfach geschichtete Rest der Furchungskugeln wird in diesem Stadium mit Unrecht schon als zweites Blatt bezeichnet. Die Elemente seiner unteren Grenzzone organisiren sich zunächst zu einem wahren membranösen Zellengewebe, dem wahren unteren Keimblatte, durch die Form ihrer Zellen wesentlich von dem oberen Keimblatt und dem centralen Reste von Furchungskugeln unterschieden, welche zwischen den beiden ausgebildeten Blättern (und einzeln in der Furchungshöhle) noch vorhanden sind. Das dritte Blatt organisirt sich zuletzt aber aus einem speciell ihm verbliebenen Rest von Furchungskugeln, welche weder

dem oberen noch dem (wahren) unteren Keimblatt jemals angehört haben. Erst wenn die Furchungskugeln als wahre kernhaltige Zellen sich zu einer geschlossenen Zellenhaut vereinigt haben, dürfen wir die betreffenden Gebilde als Keimblätter bezeichnen. —

Die Furchung der zusammengesetzten Eier (cf. oben) schliesst sich theils in Betreff der Bildung der Furchungskugeln näher an die totale Furchung (Cestoden, Trematoden etc.) an, theils zeigt der Vorgang eine freilich nur sehr entfernte Analogie mit der partiellen Furchung (Insecten etc.). Die Verhältnisse sind ganz eigenthümlicher Natur (Weissmann, Metschnikoff u. A.).

In anderer Weise, als wir es oben darstellten, erklärt His die Entstehung der verschiedenen Gewebsanlagen des Embryo. His bezeichnet im Gegensatz zu dem Nebendotter die Keimscheibe als Hauptdotter oder Archilecith; dieser ist das eigentliche Primordialei. Der Nebendotter ist nach His ein Produkt wandernder bindegewebiger Stromazellen des Ovariums, der Granulosazellen. Auch der gelbe Dotter entstehe aus Umwandlung analoger Zellen des Follikels. Nach His betheiligen sich an dem Aufbau des embryonalen Körpers durch directen Uebergang der morphologischen Elemente ausser der Keimscheibe, dem eigentlichen Primordialei, auch ein Theil des weissen oder Nebendotters, der wie gesagt aus Bindegewebszellen der Mutter stammen soll, nämlich der sogenannte Keimwall und ein Theil der Dotterrinde; der übrige Rest des Nebendotters (Nahrungsdotter) finde dagegen nur als »Nahrungsmittel« für den Embryo Verwendung. Aus der Keimscheibe entwickele sich nun das gesammte Nervensystem, das Gewebe der quergestreiften und glatten Muskeln, sowie dasjenige der echten Epithelien und Drüsen. Aus den Elementen des weissen Dotters gehe das Blut hervor und die Gewebe der Bindesubstanzen, so dass der Fundamental-Unterschied der Gewebsarten dadurch schon auf die Bildungsgeschichte des Eies selbst sich zurückführe und durch sie begründet werde.

Alle Wachsthums- und Gliederungs-Erscheinungen des Embryonalkörpers sucht His auf ein mechanisch-mathematisches Problem zurückzuführen: auf die Formveränderungen einer ungleich sich dehnenden elastischen Platte.

Die Gewebe der Bindesubstanzen.

Die Keimblätter haben für die Erkenntniss der Morphologie der Entwickelung des Gesammtkörpers eine hohe unbestrittene Bedeutung. Die Entdeckung Pander's und Bär's, dass diese ersten drei formalen, flächenhaften Bildungsanlagen des Wirbelthier-Embryo auch eine Sonderung des anfänglich physiologisch und morphologisch gleichwerthigen Bildungsmaterials der Eizelle noch drei Hauptgruppen der physiologischen Thätigkeiten des Organismus repräsentiren, erschien von jeher als einer der Hauptfortschritte unserer entwickelungsgeschichtlichen Erfahrungen. Von der physiologischen Dignität der Keimblätter ausgehend, wurde das obere Keimblatt als animales Blatt, das untere als vegetatives, das mittlere als Gefässblatt bezeichnet. Namentlich Remak's Untersuchungen lehrten zuerst die Provenienzen der einzelnen Keimblätter eingehender kennen, und man bezeichnet nun das obere Blatt als Sinnesblatt oder besser Hautsinnesblatt, das mittlere als motorisch-germinatives Blatt, das untere als Darm-Drüsenblatt. Nach Remak bildet das Hautsinnesblatt das Centralnervensystem, die nervösen Abschnitte der höheren Sinnesorgane (das Epithel der Gehörblase, den nervösen Theil des Geruchsorgans sowie des Auges, von letzterem auch die Pigmentschicht der Chorioidea und die Linse) und die Oberhaut des Gesammtkörpers (Epidermis mit den zelligen Elementen aller Hautdrüsen); aus dem motorisch-germinativen Blatt entwickeln sich die Organe der Blutphysiologie, sowie der willkürlichen und

unwillkürlichen Bewegung, Muskeln, Knochen und die übrigen Gewebe der Bindesubstanzen mit Ausnahme ? der Bindesubstanz des Centralnervensystems, sowie die Organe der geschlechtlichen Fortpflanzung (mit den Urnieren ; aus dem Darm-Drüsenblatt gehen die eigentlichen Organe der vegetativen Drüsenthätigkeiten, die Drüsenepithelien der Darmdrüsen: Lunge, Leber, Pankreas etc., sowie die Nieren, und die Epithelüberzüge des Verdauungsschlauches hervor.

Nach diesen Ergebnissen liegen sonach in diesem ersten Stadium der Gewebsbildung die in der Folge so vielfach in einander geflochtenen physiologisch differenten Gewebe des Organismus noch einfach flächenhaft über einander gebreitet.

Die neueren entwickelungsgeschichtlichen Einzelbeobachtungen haben keinen genügenden Grund ergeben, dieses physiologische Hauptergebniss der ersten bahnbrechenden Untersuchungen umzustossen.

Die fortgesetzten Studien haben die physiologische Bedeutung des Entoderma als Darmdrüsenblatt nur fester und in allen Einzelheiten zu begründen vermocht, ebensowenig konnten sie die Bedeutung des Ektoderma als Hautsinnesblatt beeinträchtigen. Gewisse Schwierigkeiten macht nur das Mesoderm durch die Verschiedenartigkeit der aus ihm hervorgehenden morphologischen und physiologischen Bildungen. Es unterliegt keinem Zweifel, dass die ersten bei der Furchung entstehenden Theilprodukte des Eiprotoplasma zunächst morphologisch und physiologisch gleichwerthig sind. Wie in dem ganzen Ei selbst, liegt noch in ihnen, gleichsam verkleinerten Eiern, potentia, die Möglichkeit zur physiologischen Functionirung nach allen Richtungen, auch zur Umbildung in die verschiedenen Gewebselemente. Während aber zunächst die zu der Zellengruppe des Ektoderms zusammentretenden Furchungskugeln, später die zum Entoderm werdenden diese ihre Fähigkeit nach bestimmten Richtungen zur Hervorbringung gemeinsamer Thätigkeiten beschränken, bleibt den im Mesoderm sich vereinigenden Elementarorganismen ihr freies selbständiges Leben, ihr s. v. v. Eicharakter ganz oder wenigstens grossentheils gewahrt, und nur in geringerem Maasse als in den beiden erstgenannten Blättern sehen wir sie in der Folge sich zu Geweben gruppiren, welche mit den Bildungen des Ektoderms und Entoderms unverkennbare Analogien aufweisen. Die farblosen Blut- und Wanderzellen, die contractilen Protoplasmakörper der Bindegewebe, die Muskelzellen und Muskelfasern, welche ihr selbständiges Einzelleben in der Gesammtheit fortwährend documentiren, vor allem aber die Fortpflanzungsorgane, welche die volle Potenz des Eies sich erhalten haben, rechtfertigen unsere Aufstellung. In den Elementarorganismen des Mittelblattes haben wir sonach ein Bildungsmaterial, welches, zunächst gleichsam physiologisch noch indifferent, entweder namentlich in der näheren Verbindung mit den beiden Urorganen des Ektoderms und Entoderms seine Selbständigkeit bis zu einem gewissen Grade zur Hervorbringung specifischer Gewebe und Organe zu beschränken oder auch seinen Eicharakter zum Theil (Blutzellen) oder ganz (Geschlechtszellen) zu bewahren vermag.

Die folgenden Betrachtungen werden ergeben, dass der den Elementarorganismen des Mittelblattes länger oder vollständig gewahrt bleibende active Charakter sie befähigt, als Hauptmotoren bei der Ausbildung der Gesammt-

körperform zu functioniren, welche vorwiegend durch Wachsthumserscheinungen im Mittelblatte eingeleitet und bedingt werden.

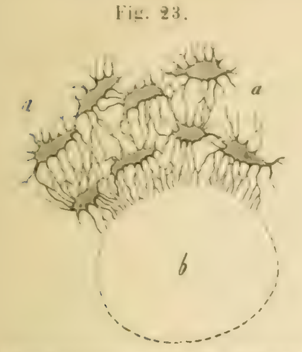
Wir theilen aus praktischen Gesichtspunkten im fertiggebildeten Organismus die Gewebe mit Rücksicht auf ihre Functionirung, indem wir theilweise von der Entstehung aus den gleichen Keimblättern absehen, zunächst in zwei Hauptgruppen, vegetative und animale, von denen die letztere nach den beiden animalen Hauptfunctionen in Nerven- und Muskelgewebe zerfällt. Zu diesen drei Gewebsgruppen kommt noch eine vierte, welche dem ganzen Organismus seine Skeletstütze, den einzelnen Geweben das Verbindungsmaterial liefert und danach mit dem Namen Gewebe der Bindesubstanzen belegt wird.

Bei dem Gewebe der Bindesubstanzen treffen wir auf eine grosse Mannigfaltigkeit der formellen Bildungen. Der thierische und menschliche Leib besteht zum grossen Theile aus den Geweben dieser Gruppe. Sie bilden die Grundlage aller Häute, das Gestell der Drüsen, und verleihen dem ganzen Körper Halt und Zusammenhang, indem sie unter einander in ununterbrochener, vollkommener Verbindung stehen. Trotz der Verschiedenheit in den physikalischen Eigenschaften, wie sie zwischen den zarten Hautgebilden und den starren Knochen besteht, zeigen die einzelnen Glieder dieser Gewebsgruppe doch eine unverkennbare Uebereinstimmung, die ihren gemeinsamen Ursprung, die Möglichkeit des Ueberganges des einen Gewebes in die Bildung eines der anderen dieser Gruppe, wie sie die Beobachtung lehrt, erklärlich macht. Sie sind alle der Hauptmasse nach aus Zellen zusammengesetzt, welche sich mit einer verschieden stark entwickelten Schicht von Intercellularsubstanz umgeben haben, wodurch ihre Protoplasmakörper mehr oder weniger von einander gerückt sind. In den meisten Fällen — mit Ausnahme des Knorpelgewebes bei dem Menschen — treten diese Zellen, die fixen Bindegewebszellen, durch Ausläufer mit einander in Verbindung. Die communicirenden, mit Protoplasma und Flüssigkeiten gefüllten Räume, welche dadurch in der Intercellularmasse entstehen, scheinen als Analoga der Blut- und Lymphgefässe mehr nur zur Erleichterung des Transportes von Flüssigkeiten zu dienen. Jede solche Zelle zieht aber den aus ihrem Protoplasma hervorgegangenen Theil der sie umlagernden Grundmasse als ihr Territorium in das Bereich ihrer Kräfte und versieht dasselbe mit ihren specifischen Lebenseigenschaften. So sehen wir bei einem krankhaften Absterben einer solchen Bindegewebszelle primär nur ihr Territorium von Intercellularsubstanz mit in den Mortificationsprocess hineingezogen (VIRCHOW). Ausser den fixen Zellen finden sich noch kleinere amöboide Zellen, die innerhalb des Gewebes ihren Ort verändern: Wanderzellen (v. RECKLINGHAUSEN); es sind vorwiegend weisse, aus den Blutgefässen ausgewanderte Blutzellen.

Die Formen der fixen Bindegewebszellen zeigen eine grosse Mannigfaltigkeit. Sie gehen von der einfach kugeligen Form, wie sie sich im menschlichen Knorpel zeigen (Fig. 16), durch die Zwischenformen spitz auslaufender oder sternförmiger Zellen (Fig. 17), welche durch Ausläufer in Verbindung stehen, wie in den weicheren Gebilden des Bindegewebes zwischen den Muskeln, in den Sehnen und in der Hauptmasse der Haut, in die vielästigen, zackigen Formen über, welche das Leben innerhalb der Knochen und Hornhaut vermitteln (Fig. 23).

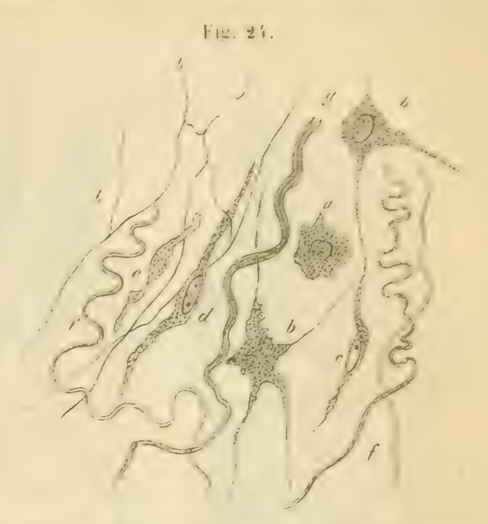
Es ist fraglich, ob diese Zellgestalten nicht zum Theil bei der Untersuchung entstehende Kunstprodukte sind. Die Zellen werden im lebenden Gewebe von der Grundmasse meist fast ganz verdeckt und werden gewöhnlich erst nach Anwendung verdünnter Essigsäure sichtbar.

Fig. 23.



Knochenkörperchen (*a a*) mit ihren zahlreichen Ausläufern, einmündend in den quer durchschnittenen HAVERS'schen Canal (*b*).

Fig. 24.



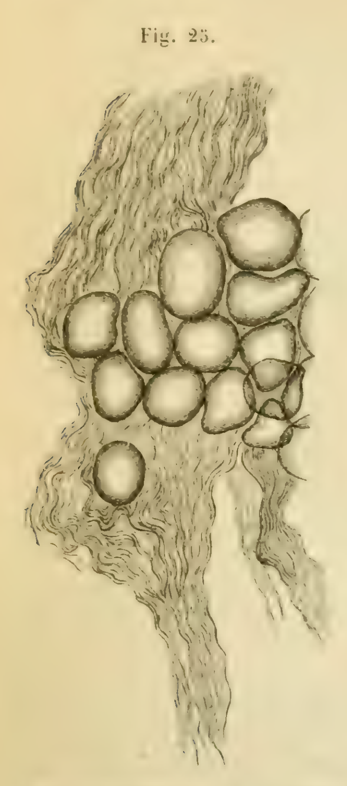
Ein Stückchen lebendes Bindegewebe des Frosches, zwischen den Oberschenkelmuskeln herausgeschnitten (mit starker Vergrösserung). *a* Contrahirte blasse Zelle mit einem dunkleren Klümpchen im Innern; *b* strahlig ausgestreckte Bindegewebskörperchen; *c* ein solches mit bläschenförmigem Nukleus; *d* und *e* bewegungslose grobkörnige Zellen; *f* Fibrillen; *g* Bündel des Bindegewebes; *h* elastisches Fasernetz.

In den Sehnen, welche nach LEYDIG und G. R. WAGENER primär aus dem Sarcolemma der Muskelfasern hervorgehen (cf. unten), fand F. BOLL die zwischen den parallellaufenden Fibrillen liegenden, kettenförmig angeordneten Zellen als rechteckige und rhomboidische Elemente mit grobkörnigem Protoplasma und Kern. In der Richtung des grössten Durchmessers verläuft bald an der Kante firstartig, bald in der Mitte der ganzen Länge der Zelle ein »elastischer Streif«. Die Gestalt der Zellen scheint durch die Einwirkung der Essigsäure auf dieses elastische Gebilde verkürzt. A. SPINA gelangte bei seinen Sehnenuntersuchungen wesentlich zu gleichen Resultaten wie BOLL. Er fand die Sehnenzellen stets noch von besonderen Zellhüllen oder Scheiden umgeben, von welchen schmale, dünne Strahlen die Sehne in querer Richtung durchsetzend ausgehen. Diese Hüllen und Fortsätze der Sehnenzellen sind es, welche die erste Anlage des elastischen Gewebes bilden sollen.

Sehr zartes Bindegewebe vom Frosch (z. B. zwischen den Schenkelmuskeln) erlaubt eine Untersuchung des lebenden Gewebes (Fig. 24). Die Zellen erscheinen dann hüllenlos meist aus sehr zartem Protoplasma mit undeutlichem Kern. Die Zellen senden zahlreiche Fortsätze aus, von welchen einige lange mit Ausläufern anderer Zellen in Verbindung treten, die Mehrzahl ist kurz und gibt dem Umfang der Zelle ein sternförmiges, gezacktes Aussehen. Andere derartige Zellen sind schärfer begrenzt mit bläschenförmigem Kern, manche zeigen grobkörniges Protoplasma und wurstartige Form. Mit Ausnahme dieser letzten Form sollen die Zellen eine träge Contractilität zeigen; sie ändern ihre Form, die Ausläufer treiben vor, verbinden sich mit denjenigen benachbarter Zellen und

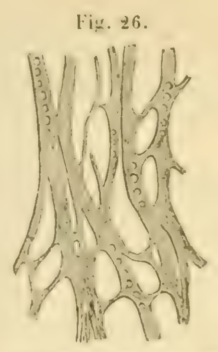
lösen sich wieder (KÜHNE). In anderen Fällen scheinen die Ausläufer constante Bildungen und die Zellen durch präformirte Hohlbahnen in der Zwischensubstanz mit einander in Verbindung. VON RECKLINGHAUSEN sah, wohl in diesen Bahnen, die erwähnten kleinen amöboiden Zellen: Wanderzellen, sich bewegen und ihren Ort verändern (cf. unten Kap. III und bei Hornhaut).

Fig. 25.



Lockiges Bindegewebe mit Fettzellen vom Menschen, 350mal vergr.

Fig. 26.



Elastisches Netz aus der Tunica media der Art. pulmonalis des Pferdes mit Löchern in den Fasern, 350mal vergr.

Aehnlich morphologisch verschieden wie die Zellen zeigt sich die Intercellularsubstanz. Während sie bei den weichsten zur Bindegewebsgruppe zu rechnenden Gebilden: dem gallertigen Bindegewebe (bei dem erwachsenen Menschen im Glaskörper des Auges), eine gallertige, schleimähnliche Beschaffenheit zeigt, die auf der Anwesenheit des Mucins oder eines verwandten Stoffes beruht, besitzt sie eine grosse Festigkeit und Elasticität bei den die Muskeln und Drüsen verbindenden Häuten, noch mehr bei den Sehnen und Sehnenhäuten. Die Zwischenmaterie zeigt in den letztgenannten Fällen ein specifisches Aussehen, es scheinen wellenförmig, lockig gekrümmte feine Fasern die Grundmasse zu bilden, wonach man diese Gewebe als lockiges Bindegewebe bezeichnet (Fig. 25). Diese Intercellularmasse zeigt in einzelnen Partien gewöhnlich eine eigenthümliche Härtung und Verdichtung entweder blos an den Grenzschichten oder auch wohl als Streifen mitten durch das Ganze, wodurch sie eine Veränderung ihres Lichtbrechungsvermögens erfährt. Solches Bindegewebe trägt den Namen elastisches Gewebe, da es sich durch grosse Elasticität auszeichnet (Fig. 26). (Das Nähere über Bindegewebe folgt bei der Besprechung der einzelnen betreffenden Organe.)

Zeigt sich die elastische Substanz blos an den Grenzlagen, so haben wir die Glashäute vor uns, denen wir bei Besprechung des Drüsengewebes z. Thl. als »eigene Häute« der Drüsen, als Membranae propriae wieder begegnen werden. Erscheinen nur netzförmig elastische Züge in der Zwischenmaterie, so entstehen daraus die elastischen Spiralfasern, Fasernetze und Platten. Gleichzeitig geht auch eine chemische Umwandlung in der Grundsubstanz vor sich, welche das elastische Gewebe weit resistenter gegen chemische Einwirkungen macht als die Grundmasse des lockigen Bindegewebes. Besteht der Inhalt der Bindegewebszellen grossentheils aus Fett, so bekommt das Gewebe den Namen Fettgewebe (Fig. 27); füllen sich die ästigen Zellen mit dunklem, körnigem Pigment, so erhalten sie den Namen »verzweigte oder sternförmige Pigmentzellen«.

Zur Herstellung des nicht nur sehr biegsamen und elastischen, sondern auch einen hohen Grad von Festigkeit besitzenden Gewebes des Knorpels findet sich eine besondere chemische Modification des Intercellularstoffes verwendet, welcher entweder homogen aus den Zellen in grösserer oder geringerer Mächtigkeit differenzirt ist oder eine ähnliche Verdichtung und Härtung wie bei der Bildung des elastischen Gewebes erfährt. Doch verlaufen die elastischen Fasern im Knorpel weniger regelmässig als im lockigen Bindegewebe, sie sind verfilzt und haben ein weniger glänzendes, mehr körniges Aussehen; in chemischer Beziehung verhalten sie sich dem elastischen Gewebe analog. Man unterscheidet je nach der Beschaffenheit und dem Aussehen der Grundsubstanz den hyalinen oder echten und den gelben oder Faserknorpel. Der hyaline Knorpel zeigt gegenüber dem gelben ein milchweisses, bläuliches, seltener ein gelbliches Aussehen. In manchen Fällen befindet sich zwischen seinen Zellen nur sehr wenig Grundsubstanz. Bei derartigem Knorpelgewebe finden sich lebhaftere Lebensvorgänge, so dass selbst ziemlich rasch wachsende krankhafte Neubildungen aus solcher Knorpelmasse bestehen. In den Fällen, in welchen die Grundsubstanz überwiegt, sind die organischen Vorgänge im Knorpel sicher nur sehr geringe. Die Zellen besitzen keine Ausläufer, die sie unter einander in Verbindung setzen, es ist der Stoffverkehr dadurch in der Zwischensubstanz auf ein Minimum herabgedrückt, wodurch besonders die Wachsthums- und Neubildungs-Erscheinungen sehr in den Hintergrund gedrängt werden. Knorpelwunden heilen nur sehr schwer und langsam, was auch noch durch den Mangel an Blutgefässen erklärlich wird.

Fig. 27.



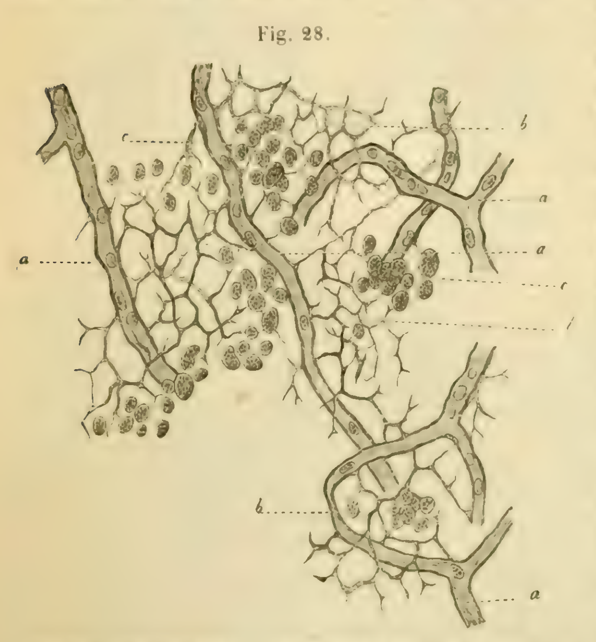
Unvollkommen mit Fett erfüllte Zellen. 1. Solche aus dem Unterhautzellgewebe einer abgemagerten menschlichen Leiche, die fettige Inhaltsmasse verlierend; *a* mit einem grossen, *b* mit einem kleineren Fetttropfen; *c* und *d* mit sichtbarem Kerne; *e* eine Zelle mit getrennten Tröpfchen; *f* mit einem einzigen kleinen Tröpfchen; bei *g* fast fettfrei und bei *h* ohne Fett mit einem Tropfen eiweissartiger Substanz im Innern. 2. Zellen des Fettgewebes aus der Umgebung der Niere eines zehnzölligen Schafembryo, sich mit Fett mehr und mehr erfüllend; *a* und *b* isolirte Zellen noch ohne Fett: *c* ein Haufen derselben; *d*—*h* Zellen mit steigender Einlagerung der fettigen Inhaltsmasse.

Zur Bildung der eigentlich starren Gerüsttheile des menschlichen und thierischen Organismus ist ebenfalls das Bindegewebe verwendet, welches durch Einlagerung von erdigen Bestandtheilen — kohlensaurem und namentlich phosphorsaurem Kalk — in die Zwischenzellenmasse zu einem Baumaterial umgeschaffen wird, welches neben hoher Elasticität einen bedeutenden Grad von Festigkeit erreicht. Die Intercellularsubstanz des Knochens hat die geschichtete Beschaffenheit wie die des gewöhnlichen Bindegewebes, die Lamellen sind in Folge des härteren und damit schärfere Contouren gebenden Materiales noch klarer und markirter als bei jenem Alle Species der Bindesubstanz können ossificiren; es entsteht wahre Knochenstructur bei den embryonalen Skeletanlagen sowohl aus dem lockigen Bindegewebe als aus dem Knorpel. In manchen Fällen verkalken Theile der äusseren Haut, der Schleimhäute, der interstitiellen Bindesubstanz zwischen Muskeln und Drüsen. Man spricht von einem Incrustations- und einem wahren Verknöcherungsprocesse. Bei ersterem verbleiben die sich absetzenden Kalktheile selbständiger und stellen grössere Kalkkugeln und Kalkkrümeln dar, bei letzterem verschmelzen sie mit der Zwischensubstanz morphologisch zu einer Masse. Die Incrustation ist gewöhnlich das Vorläuferstadium der wahren Ossification und bleibt nur selten permanent. Bei der Ablagerung der Kalksalze in die Intercellularsubstanz wandeln sich die zelligen Knochentheile in die specifischen

Knochenzellen oder **Knochenkörperchen** um. Bei der Ossification des lockigen Bindegewebes gehen, wie es scheint, die verästelten Bindegewebszellen oder **Bindegewebskörperchen** direct in die verästelten Knochenkörperchen über; bei der Verknöcherung des Hyalinknorpels beobachtet man, dass die Knorpelzellen während der Verkalkung sternförmig auswachsen und so ebenfalls zu verästelten Knochenkörperchen werden.

Die strahlenförmigen Ausläufer der Bindegewebszellen und ihrer Hüllen, welche die einzelnen Zellen unter einander in Verbindung setzen, stellen ein mehr oder weniger weitmaschiges Netzwerk dar, in welchem die verschiedenen Zwischensubstanzen gleichsam s. v. v. eingelagert sind. Eine ziemlich ausgedehnte Gewebsgruppe zeigt uns solche Maschenräume zwischen verästelten, unter einander zusammenhängenden Zellen nicht erfüllt mit einer mehr oder weniger gleichartigen Intercellularmasse, sondern mit einer Unzahl kleiner granulirter Zellen, welche mit den Elementen der Lymphe übereinstimmen. Man hat dieser verbreiteten Gewebsform verschiedene Namen beigelegt: **cytogene Bindesubstanz** (Kölliker), **adenoide Substanz** (His), oder **reticuläre Bindesubstanz** Frey (Fig. 28). Diese Gewebsform bildet gleichsam den Uebergang zu dem Drüsengewebe. **Das bindegewebige Gerüste der Nervencentralorgane sowie der nervösen Theile der Sinnesorgane** hat eine gewisse Aehnlichkeit mit dem reticulären Bindegewebe. Es findet seine nähere Beschreibung bei den betreffenden Organen, ebenso das Zahngewebe.

Fig. 28.



Retikuläre Bindesubstanz mit Lymphzellen aus dem Peyer'schen Follikel des erwachsenen Kaninchens. *a* Haargefässe; *b* Netzgerüste; *c* Lymphzellen (die meisten durch Auspinseln entfernt).

Die Bindesubstanz tritt überall **ausschliesslich als Trägerin der Blut- und Lymphgefässe** auf, ja die feinsten Lymphgefässe scheinen von jenen Netzen der Hohlräume in den Zwischensubstanzen, in welchen die Bindegewebskörperchen liegen, dargestellt zu werden. Nirgends existiren Capillargefässe als im Bereiche der Bindesubstanz; doch sind nicht alle Arten dieses Gewebes gleichmässig mit Gefässen durchsetzt, im Knorpel fehlen sie fast durchaus gänzlich. Bei niederen Thieren bewegt sich die Ernährungsflüssigkeit in **Lacunen**, aus Bindegewebe gebildet.

Die Entwickelungsgeschichte zeigt die Zusammengehörigkeit aller dieser so verschiedenartig erscheinenden Bildungen mit vollkommener Sicherheit (cf. oben S. 26 die Angaben von His). Die Bindesubstanzen entwickeln sich in dem frühesten Fötalleben aus dem **mittleren Keimblatte** aus einer gleichartigen Anlage, die aus zarten, rundlichen Zellen mit bläschenförmigem Kerne besteht, welche gedrängt in einer spärlichen, eiweissartigen Intercellularmasse, Umwandlungsproduct ihres Protoplasmas, eingelagert sind (Kölliker), oder aus »wandungslosen bis zur Verschmelzung genäherten Embryonalzellen« (M. Schultze). Bei jenen Formen der Bindesubstanz, bei welchen die Zellen in ihrer späteren Entwickelung sternförmige Gestalt annehmen, ist die beschriebene erste Erscheinungsform des Bindegewebes eine rasch vorübergehende. Bald sieht man spindel- und sternförmige Zellen eingebettet in

ansehnlichere Mengen von Zwischensubstanz. Von der gleichen Anlage aus bilden sich die Bindesubstanzen also in verschiedener Weise aus. So entstehen mehrere zusammengehörige und gleichlaufende Gewebsreihen, deren Glieder sich in einander umbilden können.

Die vergleichende Anatomie lehrt uns, dass das Bindegewebe bei allen Wirbelthieren in derselben Weise auftritt wie bei dem Menschen. Bei den Vögeln verknöchern die Sehnen regelmässig. Bei den wirbellosen Thieren behält das Bindegewebe meist einen gewissermassen embryonalen Bau als einfache zellige Bindesubstanz (bei den Mollusken und Decapoden) oder als gallertige Bindesubstanz (Mollusken), selten wird es mehr faserig wie bei den Cephalopoden, im Mantel der Muscheln, im Stiel der Lingulen und Cyrripedien, bei den Echiniden. Das feste Bindegewebe des Leibesgerüstes wird bei den niederen Thieren entweder durch eine dem Knorpel sich annähernde Modification der einfachen, zelligen Bindesubstanz oder durch eine aus Chitin oder Cellulose (= Tunicin, nur bei Ascidien gefunden) bestehende Substanz oder durch kalkige und hornige Theile ersetzt. Das feste Gerüste wird bei den Fischen vorzüglich aus Knorpel, Knorpelknochen, osteoider Substanz und Zahnbein gebildet, bei allen höheren Wirbelthieren ist es echter Knochen der Hauptmasse nach. Die allgemeine Körperhaut (Cutis) besteht aus den verschiedensten Gestaltungen der einfachen Bindesubstanz und des Bindegewebes, es kommen in ihr Knorpel-, Knochen-, ja selbst Zahnbildungen der mannigfachsten Art vor. Die Chitingebilde der Arthropoden sind Cuticularbildungen.

Vegetative Gewebe.

Blut- und Oberhautgewebe.

Als zweite Hauptgruppe der Gewebe haben wir diejenigen bezeichnet, welche den vegetativen Vorgängen im menschlichen und Säugethier-Organismus vorstehen. Hier vereinigen sich Bildungen der drei Keimblätter.

Unter die vegetative Gruppe fallen die Zellen des Blutes und der Lymphe (die man nach den entwickelungsgeschichtlichen Angaben von His, cf. oben, auch zu den Bindesubstanzen stellen könnte), dann die Zellen, welche die freie Oberhaut des Körpers und seiner grösseren Hohlgebilde überziehen und die sogenannten Epithelien bilden, und die Drüsenzellen, welche die verschiedenen Drüsenräume auskleiden oder anfüllen und gewöhnlich mit Epithelzellen continuirlich zusammenhängen.

Fig. 29.

Glattrandige scheibenförmige Blutkörperchen *a b c* und eine granulirte farblose Blutzelle *d*, deren Kern verdeckt ist, vom Menschen.

Während in den vorhin besprochenen Geweben die Intercellularsubstanz die Hauptmasse bildete, behalten in dieser Gewebsgruppe die Zellen die Oberhand. Meist ist der Intercellularstoff auf ein so geringes Minimum beschränkt, dass er eben nur hinreicht, die einzelnen Zellen unter einander zu verkleben. Bei dem Blute und der Lymphe bleibt er flüssig, so dass die Zellen frei in ihm schwimmen (Fig. 29).

Wie die Functionen der vegetativen Sphäre dem Thiere und der Pflanze gemeinsam zukommen, so ist auch das im Thierorganismus diesen Thätigkeiten als materielle Basis dienende Gewebe dem Pflanzengewebe am ähnlichsten gestaltet. Die Zellen lagern sich dicht an einander und platten sich auf das Mannigfachste ab. Dabei behauptet jede einzelne Zelle fast vollkommen ihre individuelle Selbständigkeit, so dass man die zu besprechende Gewebsgruppe als Gruppe der selbständig gebliebenen Zellen bezeichnen kann. Wenn wir

von den Organen, welche aus diesen Geweben zusammengesetzt sind, gemeinschaftliche Wirkungen hervorgebracht sehen, so betheiligt sich doch jede einzelne der gewebebildenden Zellen in individueller Weise an dem schliesslichen Resultate. Jede einzelne Zelle ist eine abgeschlossene, chemisch-physikalische Werkstätte, welche Stoffe aufnimmt, umwandelt, abgibt.

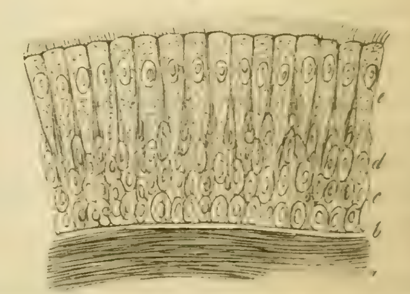
In dem thierischen und menschlichen Körper betheiligt sich nur ein verhältnissmässig geringerer Theil an den eigentlich vegetativen Processen, der grösste Theil ist mit Einschluss der Hauptmasse der Bindesubstanzen (Knochen, Sehnen, Bänder, Häute etc.) den animalen Functionen der Bewegung und Empfindung gewidmet.

Die Anordnung der Zellen ist in dieser Gewebsgruppe primär eine flächenhafte. Wir sehen alle freien Oberflächen des Körpers, innere und äussere, mit Lagen oder Häuten selbständiger Zellen tapezirt, die in dieser Aneinanderlagerung den Namen Epithelien führen, wobei man morphologisch und entwickelungsgeschichtlich, nach ihrer Lage und Entstehungsgeschichte: Ektothelien und Endothelien unterscheidet. Die Epithelzellen sind von der mannigfaltigsten Gestalt und Aneinanderlagerung. Entweder bleiben sie, wie in allen inneren Höhlungen, als Ueberzüge der sogenannten Schleimhäute weich und kernhaltig; oder sie sind wie an der Oberhaut der äusseren Körperbedeckung des Menschen theilweise zu trockenen Blättchen geworden, verhornt (Horngewebe); die aus solchen, in Alkalien wieder kugelig aufzuquellenden feinen Zellenblättchen bestehende obere Hautlage heisst Epidermis (Fig. 30). Je

Fig. 30.

Epidermis eines zweimonatlichen menschlichen Embryo noch weich wie Epithelium, 350mal vergr.

Fig. 31.



Flimmerepithelium von der Trachea des Menschen, 350mal vergr. a äusserster Theil der elastischen Längsfasern, b helle äusserste Lage der Mucosa, c tiefste runde Zellen, d mittlere längliche, e äusserste Flimmern tragende.

nachdem die Zellen in ein- oder mehrfacher Schicht das Epithel zusammensetzen oder ihre Gestalt vom Rundlichen ins Polygonale oder Kegelförmige abändern oder in Flimmerhaare ausgewachsen sind, spricht man von einem einfachen Epithel, einem geschichteten Epithel, Platten-, Cylinder-, Flimmer-Epithel. Man darf nicht ausser Acht lassen, dass geschichtetes Epithel und Epidermis in verschiedenen Lagen sehr differente Zellformen haben können (Fig. 31). So zeigt die Oberhaut des Menschen zu oberst feste Hornblättchen, welche kaum mehr an Zellen erinnern, in tieferen Lagen, in der sogenannten »Schleimschicht«, besteht sie aus rundlichen oder polygonalen

Zellen mit Kernen; derartige Zellen, deren Oberfläche ringsum mit Spitzen, Stacheln und Leisten besetzt ist, welche zwischen analoge Vorsprünge der Nachbarzellen eingreifen »wie zwei mit den Borsten in einander gepresste Bürsten«, werden als Stachel- und Riffzellen bezeichnet (M. SCHULTZE) Fig. 32).

Zu den Epidermisbildungen gehören: die Nägel und Haare Horngewebe, sowie die Krystalllinse des Auges.

Die Cuticularbildungen sind geformte Ausscheidungen des Epithelgewebes. Sie überziehen entweder die freie Wand der einzelnen Zellen und können dann sowohl als dünne Säume oder wie bei dem Schmelz der Zähne als 5—6eckige Prismen erscheinen, oder sie überziehen die freien Wände angrenzender Zellen im Zusammenhang als einfaches oder geschichtetes Häutchen. Diese Häute sind es, die man vorzugsweise als Cuticulae bezeichnet. Andererseits rechnet man hierher wohl die Basalmembranen Basement membranes S. 37), auf denen die Epithelzellen oft aufsitzen. Bei den Gliederthieren kommen dicke, geschichtete, faserige, entweder weiche oder hornartige, auch verkalkte Cuticulae vor, die zum Theil aus Stoffen (Chitin) bestehen, die sonst nirgends gefunden werden.

Fig. 32.



Sogenannte Stachel- oder Riffzellen *a* aus den untern Schichten der Epidermis des Menschen; *b* eine Zelle aus einer Papillargeschwulst der menschlichen Zunge (letztere Copie nach SCHULTZE).

Zur Entwickelungsgeschichte. — Epithelien und Epidermis gehen ihrer Hauptmasse nach aus den beiden begrenzenden Keimblättern, dem oberen und unteren, hervor. Der epitheliale Ueberzug der serösen Körperhöhlen mit dem der Schleimbeutel und der Sehnenscheiden, sowie die Intima der Gefässe scheinen sich mit den Organen, die sie überkleiden, aus dem mittleren Keimblatt zu entwickeln. Sie zeigen manches Eigenthümliche im Bau und im physiologischen Verhalten, weshalb man in neuester Zeit diese: Binnenepithelien auch als unechte oder Endothelien bezeichnet. — Das obere Keimblatt, Hornblatt, liefert die Epidermis mit Nägeln, Haaren, Krystalllinsen, mit den Hautdrüsen und Milch- und Thränendrüsen, welche also zu den Epidermisbildungen zu rechnen sind, wie der epitheliale Ueberzug der Höhlen des Centralnervensystems und das Pigment-Epithel der Chorioidea. Das Darmdrüsenblatt oder untere Keimblatt liefert die Epithelien des Verdauungsapparates, sowie die zelligen Theile aller dazu gehörigen Drüsen, auch der Lunge, Leber, Niere. Während die Epidermis meist rundliche oder platte Zellformen zeigt, zeigt das Epithel vorwiegend Cylinderzellen, zum Theil bewimperte. Die Epidermis lässt schon bei dem Embryo von 5 Wochen zwei Zellenschichten erkennen als Anlage der Schleim- und Hornschicht.

Zur vergleichenden Anatomie. — Abgesehen von den Cuticularbildungen etc. zeigt sich das Oberhautgewebe bei den Thieren von ziemlich analoger Bildung. Das Horngewebe erscheint bei den Thieren verbreiteter und eigenthümlich geformt, und zwar betheiligen sich Epidermis und Epithelien an seiner Erzeugung. Als Gebilde der Epidermis der äusseren Haut sind zu nennen: Krallen, Klauen, Hufe, Hörner, Stacheln, Platten, Schilder, Borsten, Federn etc., als Epithelialgebilde von Schleimhäuten erscheinen die bei verschiedenen Thieren vorkommenden Hornscheiden der Kiefer, Hornzähne, die Walfischbarten, die Zungenstacheln und Platten bei Vögeln, Säugern und Amphibien, die Stacheln der Speiseröhre bei Schildkröten etc. (KÖLLIKER). Ueber Blut cf. in der speciellen Physiologie.

Drüsengewebe.

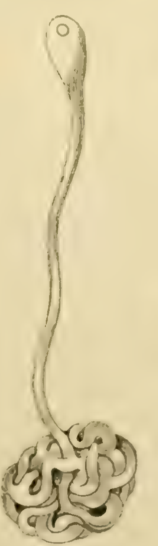
Fast bei allen Häuten, welche einen Epithelialüberzug besitzen, zeigt sich eine im Princip gleichmässige Methode der Flächenvermehrung realisirt. Es finden sich nämlich in dem diesen Häuten als Gerüst dienenden Bindegewebe eine

grosse Anzahl von Ein- und Ausstülpungen, von Höhlen-, Buchten- und Zottenbildungen, welche alle von Drüsen-Epithelzellen überkleidet werden. Diese mit Zellen austapezirten Einstülpungen und Höhlen der mit Epithel bekleideten Häute sind das, was man in der Anatomie vorzugsweise als Drüsen bezeichnet. Ihre Hauptgrundform lässt sich, abgesehen von den einzelligen Drüsen (cf. unten), auf die eines einfachen Schlauches: »Handschuhfingerform«, zurückführen; von der Fläche auf dem Durchschnitt gesehen, besitzen sie eine langgestreckte U-förmige Gestalt. Durch Aufrollung, Verästelung, theilweise Ausbuchtungen etc. wird diese Urgestalt der Drüse mannigfach abgeändert. Den inneren Ueberzug des Nahrungsschlauches, die Schleimhaut des Magens und der Gedärme, können wir uns mit seinen Ein- und Ausbuchtungen unter dem Bilde versinnlichen, als hätte man in die aus plastischer Masse bestehende Haut dicht neben einander mit einem unten abgerundeten Stäbchen Vertiefungen eingedrückt. Die Epithelzellen folgen allen diesen Eindrücken und bilden damit die einfach schlauchförmigen Magen- und Darmdrüsen (Fig. 33). Manche Schlauchdrüsen rollen ihre Enden zu einem Knäuel zusammen, der dann einen einfachen Ausführungsgang zeigt, wie die Schweissdrüsen der Haut (Fig. 34). An anderen Drüsenschläuchen zeigt sich die Höhlung selbst vielfach ausgebuchtet, gleichsam verästelt, so dass nach mannigfachen Uebergängen daraus traubenförmige Drüsen, wie in den Schleimhäuten der Mund- und Respirationshöhle etc. (Fig. 35), oder geschlossene, mit einem Epithel ausgekleidete Blasen wie bei der Thyreoidea entstehen. Dieselben Bildungen, welche wir bisher im Kleinen besprochen haben, können durch Vereinigung analoger Bildungen auch eine bedeutende Grösse annehmen. Diese grossen Drüsen besitzen

Fig. 33.

Einfache schlauchförmige Drüsen der Magenschleimhaut vom Menschen.

Fig. 34.



Eine Knäueldrüse aus der Conjunctiva des Kalbes.

Fig. 35.



Eine Brunner'sche Drüse des Menschen.

dann meist in ihren einzelnen Abschnitten oder im Ganzen ebenfalls entweder einen schlauchförmigen oder einen traubenförmigen Bau, sie werden, im Gegensatze zu den bisher abgehandelten einfachen, zusammengesetzte Drüsen genannt. Als Beispiele einer zusammengesetzten traubenförmigen Drüse können die Speicheldrüsen der Mundhöhle dienen, für eine zusammengesetzte schlauchförmige die Nieren (cf. specielle Physiologie). Diese grösseren Drüsen sind meist mit einer bindegewebigen Kapsel umschlossen, welche Fortsätze als Scheidewände und Stützen in das Innere hereinsendet. In diese Bindegewebshöhlen und Gerüste sind die Drüsenschläuche gleichsam eingekittet. Wo die Drüsenzellen dem Bindegewebsgerüste ansitzen, findet sich die Intercellularsubstanz zu jenen oben besprochenen, glasartigen, inneren Grenzhäuten (Basalmembranen) verdichtet, welche mit der Grundsubstanz des übrigen Bindegewebes zusammenhängen. Diese elastischen Grenzschichten sind meist das, was man die eigenen Häute, die Membranae propriae der Drüsen nennt. Man unterscheidet demnach an dem Schema einer Drüse den meist von der Membrana propria gebildeten Drüsenschlauch und das denselben auskleidende Drüsenepithel. Die Drüsenzellen besitzen eine ähnliche Mannigfaltigkeit der Gestaltungen, wie sie uns bei den Epithelzellen begegnete. — Bei den Lungenbläschen ist das Epithel nur spärlich auf der Membrana propria, bei anderen Drüsen (Leber) ist dagegen die Membrana propria verkümmert, die eigentlichen Drüsenschläuche fast ganz mit Zellen erfüllt, welche nur interstitielle Räume zwischen sich lassen.

Zur Entwickelungsgeschichte. — Bei den Epithelial- und Epidermisbildungen wurde schon erwähnt, dass die Drüsen sowohl aus dem oberen, als aus dem unteren Keimblatte gebildet werden. Ihre Entstehungsweise zeigt viele Analogien. Die aus dem oberen (Hornblatt) sich entwickelnden Drüsen der Haut etc. zeigen sich zuerst als solide Wucherungen von Zellen, welche, von der Schleimschicht der Oberhaut ausgehend, in die tieferen Lagen der Cutis hereinwuchern. Anfänglich sind diese Zellenwucherungen, welche zuerst flaschen- oder warzenförmig sind, weder von einer Membrana propria umkleidet, noch besitzen sie Höhlungen. Erstere bildet sich als Cuticularbildung von den Grenzzellen des Haufens aus, die Höhlung entsteht meist durch Auflösung der mittleren Zellenschichten. Die umgebende Partie der Cutis wird zur bindegewebigen Umhüllungsmasse der Drüse. Aus dem Hornblatte bilden sich so in analoger Weise: Schweiss-, Talg-, Milch- und Thränendrüsen, Meibom'sche Drüsen (Fig. 36). Alle Anhänge der Epidermis entstehen in analoger Weise zuerst als solide Wucherungen des Hornblattes, zu denen sich dann nachträglich noch Umhüllungen vom mittleren Keimblatt, von dem die Cutis stammt, gesellen. Während sich bei den Drüsen die Epidermiszellen in Drüsenzellen umwandeln, werden sie bei den solid bleibenden Epidermisfortsätzen oder Horngebilden, Haaren, Nägeln, zu den specifischen Schüppchen. Ein Haar und Nagel sind also sozusagen trockene Hautsecrete (Kölliker), die sich mit den flüssigen in gewissem Sinne vergleichen lassen. Eine Anzahl der von dem unteren Keimblatt (Darmdrüsenblatt) sich bildenden Drüsen entsteht auf analoge Weise aus soliden Zellenanlagen, die sich in die unterliegenden Gebilde einsenken, z. B. die Brunner'schen und übrigen traubigen Schleimdrüsen, Speicheldrüsen. Andere beginnen

Fig. 36.

Die Schweissdrüse eines Fötus von 5 Monaten. *a b* Die oberflächlichen und tieferen Schichten der Oberhaut. Letztere bilden in zapfenartiger Wucherung die Drüsenlage *d*.

als hohle Einstulpungen, deren Zellenauskleidung zu den Drüsenlappchen auswuchert: Pankreas, Lunge etc.

Zur vergleichenden Anatomie. — Fast alle Drusen im ganzen Thierreiche lassen sich unter die oben gegebene Eintheilung bringen. Bei Arthropoden und Wurmern kommen einzellige Drusen vor; eine von der Drusenzelle gelieferte Membrana propria umschliesst in ihrem erweiterten, blinden Ende die einzige Secretionszelle und setzt sich in einen feinen Ausführungsgang fort. Oder es werden eine Anzahl solcher Drusen von einer Membrana propria umgeben, deren Intima aus Chitin bestehen kann und sich so deutlich als Cuticularbildung documentirt. Manche Drusenzellen von Insecten erreichen eine Grosse von circa 0,2mm, ihre Kerne zeigen Verästelungen, und Kölliker sah Luftrohren (Tracheen) in das Innere einzelner solcher Zellen eindringen, wodurch ein Uebergang zu hoheren Gewebselementen angedeutet ist. Bei Lepidosiren fand K. einzellige, flaschenformige Schleimdrüsen der Haut entsprechend den Schleimzellen in der Haut der Fische.

Animale Gewebe.

Muskeln.

Die formellen Grundlagen der animalen Thätigkeiten, der Empfindung und Bewegung, sind das Nerven- und Muskelgewebe.

Das Muskelgewebe besteht aus zwei Gruppen von Formelementen, deren Verschiedenheiten sich auf einen Grundtypus zurückführen lassen. Die contractile, rundliche, embryonale Muskelzelle wächst mehr oder weniger in die Länge, wobei auch der Kern die Längsform annimmt. Dabei bleibt entweder die Zelle einkernig oder sie entwickelt mehrere Kerne, so dass sie dadurch die Dignität einer Zellenreihe erhält. Die einkernigen Muskelzellen bleiben meist kurz und damit ihre Wirkung auf kleine Räume beschränkt, doch können sie, wie z. B. im schwangeren Uterus, auch sehr bedeutende Grösse erlangen (Fig. 37 und 38). Die mehrkernigen Muskelfasern erreichen bei dem Menschen stets eine sehr bedeutende Länge.

Nur ein Theil der Bewegungen des menschlichen Organismus bedarf zu ihrem Zustandekommen den Anstoss eines Willensactes. Die Bewegungen bei dem Verdauungsvorgang und der Bluteirculation, die Auspressung der Drüsensecrete aus dem Innern der Drüseneinbuchtungen sind unwillkürliche Bewegungen. Sie werden von den unwillkürlichen oder organischen Muskeln verrichtet, welche eine Zusammenhäufung von einkernigen, durch eine mikroskopisch nicht direct sichtbare Zwischenmaterie vereinigten Muskelzellen sind. Das Plasma dieser Zellen hat die Eigenschaft der Contractilität in hohem Maasse, d. h. es ist im Stande, sich auf Reize, die ihm in normalen Fällen vom Nervensysteme vermittelt werden, zusammen zu ziehen, seinen Längsdurchmesser zu Gunsten des Querdurchmessers zu verkleinern. Die Zellenhülle, die übrigens an vielen dieser Muskelzellen nicht nachzuweisen ist, nimmt daran vermöge ihrer Elasticität nur einen passiven Antheil. Der Zellkern ist meist stäbchenförmig, lang und liegt central in der spindelförmigen Zelle. Die organische Muskelzelle ist im Mittel 0,04—0,09mm lang und 0,004—0,007mm breit, selten ist ihre Form relativ kürzer und breiter; im Durchschnitt erscheinen sie entweder walzenförmig oder abgeplattet.

In dem Protoplasma der unwillkürlichen Muskelzellen finden sich Körnchen, welche sich optischen Hülfsmitteln gegenüber verschieden von der anderen

Inhaltsmasse verhalten: sie brechen das Licht doppelt. Diese doppeltbrechenden Körperchen zeigen hier nur selten eine regelmässigere Anordnung, wodurch der Muskelzelleninhalt eine zarte Längsstreifung erhält; in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle sind sie ganz unregelmässig gestellt, so dass der Inhalt ein fast homogenes, glattes Aussehen besitzt. Man nennt danach die unwillkürlichen Muskeln auch glatte Muskeln.

Um willkürliche, rasche Kraftäusserungen hervorzubringen, hat die Natur jene oben erwähnten, mehrkernigen, langgestreckten Muskelzellen benutzt. Eine scharfe Grenze zwischen den beiden Muskelarten kann nach den neueren Erfahrungen nicht mehr gezogen werden. Die willkürlichen Muskelfasern oder Muskelprimitivcylinder sind von einer structurlosen Membran umschlossen, sie trägt den Namen Sarkolemma oder Myolemma. Gewöhnlich an der Innenfläche des Sarkolemma liegen in bedeutender Anzahl rundliche oder verlängerte Zellenkerne in regelmässigen Abständen an. Meist haben diese Muskelfasern die Form von langgestreckten Spindeln oder Walzen. Der Inhalt des Sarkolemmschlauches, das umgewandelte Protoplasma der willkürlichen Muskelzellen, hat die Fähigkeit der Contractilität in noch höherem Maasse, als das der willkürlichen. Die hier in grosser Anzahl vorkommenden doppeltbrechenden Körperchen besitzen eine sehr regelmässige Anordnung in Querreihen, wodurch eine regelmässige Querstreifung des Muskelinhaltes entsteht. Man nennt danach die willkürlichen Muskeln auch quergestreifte. Das Herz der Säugethiere und des Menschen, obwohl ein unwillkürlicher Muskel, besteht ebenfalls aus quergestreiften Fasern. — Die Primitivmuskelcylinder lagern bündelweise an einander, durch zarte bindegewebige Membranen, Perimysium, umschlossen und zusammengehalten zu primitiven Muskelbündeln. Diese sind wieder zu mehreren von Bindegewebe umkapselt und stellen so die makroskopischen Muskelbündel dar, aus welchen sich die willkürlichen Muskelbündel zusammengesetzt erweisen. Die quergestreiften Muskeln zeigen hier und da, z. B. im Herzen, Verästelungen und Anastomosen. (Näheres cf. Cap. XI u. XIX.)

Fig. 37.

Muskulöse Faserzelle aus dem Dünndarm des Menschen. *a* stäbchenförmiger Kern. Starke Vergrösserung.

Fig. 38.

Muskulöse Faserzelle aus der fibrösen Hülle der Milz des Hundes. 350mal vergr.

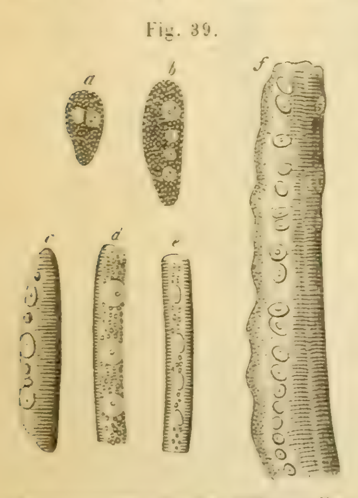
L. Ranvier unterscheidet die quergestreiften Muskeln weiter als „rothe“ und „blasse“ **Muskeln.** Die beiden Arten sind besonders deutlich und leicht bei Kaninchen zu unterscheiden. Die »blassen« Muskeln nähern sich in ihrem physiologischen Verhalten mehr den glatten. (Die Zeit der latenten Reizung ist bei den blassen Muskeln 4mal grösser als bei den rothen. Bei einer Geschwindigkeit der Unterbrechungen des electrischen Stromes, welche

den rothen Muskel zu constantem Tetanus reizt (55—357 Unterbrechungen in der Minute), zeigt der blasse Muskel Einzelzuckungen, je einem einzelnen der einwirkenden electrischen Reize entsprechend. Der Grund des verschiedenen physiologischen Verhaltens dieser beiden Muskelarten ist höchst wahrscheinlich ein chemischer, begründet in der verschiedenen Ernährungsenergie mehr rother oder weniger blasser thätiger Muskeln, welcher sich namentlich bei zahmen Thieren geltend macht (E. Meyer cf. Mechanik und Chemie der Muskeln).

Sehne. Das Sarkolemma geht direkt in die Sehne über (Leydig, G. R. Wagener), die Sehne steht mit dem Protoplasma und dem Sarkolemma des Muskels in engster Verbindung. Das zur Sehne gewordene Sarkolemma ist in der Jugend strukturlos und dünn. Indem es später dicker wird, treten von den Muskelfibrillen ausgehende, fibrillenartige Streifen in ihm auf, welche endlich isolirbar werden.

Zur Entwickelungsgeschichte. — Die Muskulatur entsteht aus dem mittleren Keimblatte. Die glatten Muskelfasern entstehen durch Umwandlung kugeliger Bildungszellen mit kugeligem Kern. Auch die quergestreifte Muskelfaser ist nichts Anderes, als eine zu grosser Länge ausgewachsene Spindelzelle, die sich ebenfalls aus einer kugeligen Bildungszelle entwickelt hat. Die Entwickelung derselben ist bei dem Menschen und den übrigen Wirbelthieren analog. Die Bildungszellen des Froschembryo mit ihrem körnchenreichen Protoplasma wachsen mit Kerntheilung, die sich mehrfach wiederholt. Die Kerne lagern sich in der Längenrichtung der spindelförmig auswachsenden Zelle unter einander. An Stelle des zuerst körnigen Protoplasmas tritt in der Folge die normale Querstreifung auf (Frey) (Fig. 39).

Fig. 39.



Entwickelungsstufen der Bildungszellen des quergestreiften Muskelfadens vom Frosch nach Remak.

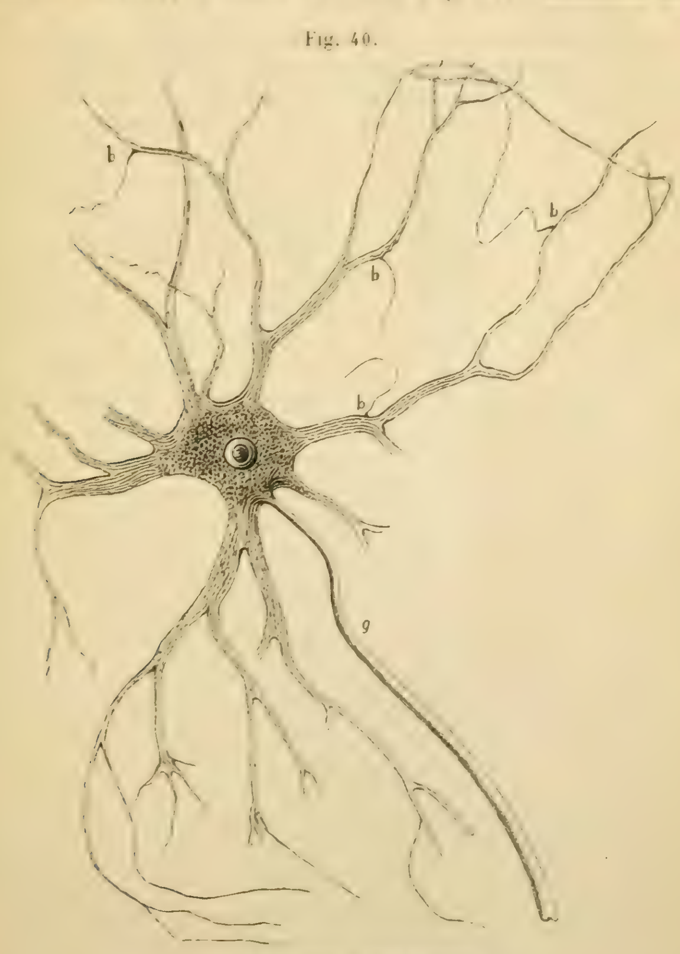
Zur vergleichenden Anatomie. — Beim Menschen bilden glatte Muskelfasern vor allem die Muskelhäute der Hohl- und Röhrengebilde des menschlichen Körpers: des Darms, der Harnorgane, der Blutgefässe, der Respirations- und Geschlechtsorgane. Im Auge sind die Fasern der Pupillarmuskeln glatt. Auch im Innern vieler Organe kommen mehr oder weniger zahlreiche glatte Fasern vor, in der Milz, in den Darmzotten, an den Haarbälgen der Haut, an den Schweiss- und Ohrenschmalzdrüsen. Die Tunica dartos des Hodensacks, Warzenhof und Brustwarze verdanken ihre Contractilität diesen Muskelzellen.

Bei den Säugethieren vereinigen sich glatte Muskelfasern an einigen Stellen zu grossen Muskelindividuen, z. B. der Mastdarmruthenmuskeln. Die organischen Muskeln stehen häufig mit Sehnen aus elastischem Gewebe in Verbindung, wie das zuerst von Kölliker an den Trachealmuskeln und Hautfedermuskeln der Vögel aufgefunden wurde. Auch beim Menschen kommen derartige Sehnen an glatten Muskeln vor. Die Herzen der nackten Amphibien und Fische haben glatte Muskulatur, während die Lymphherzen z. B. der Fische quergestreifte Fasern zeigen. Bei den Wirbellosen (Scheibenquallen, Cephalopoden, Cephalophoren, im Herzen der Gasteropoden) finden sich die einkernigen Muskelzellen ziemlich verbreitet und bilden, wo sie vorkommen, auch die willkürliche Muskulatur. Oft zeigt ihr Bau neben specifischen Eigenthümlichkeiten Uebergänge zu den quergestreiften Fasern. Das Vorkommen der quergestreiften Fasern ist bei den Wirbelthieren nicht ganz dem bei Menschen gleich. Es finden sich solche im Magen von Cobitis fossilis, im Darm von Tinca chrysitis, in den Hautmuskeln vieler Wirbelthiere, an den Spürhaaren der Säuger, an der unteren Hohlvene von Phoca, an den pulsirenden Venen der Flughaut der Chiropteren, im Auge der Vögel und beschuppten Amphibien. Die Herzen der Gliederthiere bestehen aus quergestreiften Elementen (Leydig).

Nervengewebe.

Die normalen Antriebe zur Bewegung des Muskelsystems, zur Absonderung der Drüsen, die Vorgänge der Empfindung, sowie die sogenannten Seelenthätigkeiten haben ihre materielle Grundlage im Gehirn und Rückenmark und in den zu diesen centralen Nervengebilden gehörenden peripherischen Nerven nebst ihren physiologischen Endapparaten. Die Hervorbringung dieser höchsten animalen Thätigkeiten basirt auf den Nerven- oder Ganglienzellen. Diese haben meist ein blasses, farbloses Ansehen (Fig. 40). Manchen scheint eine

Fig. 40.



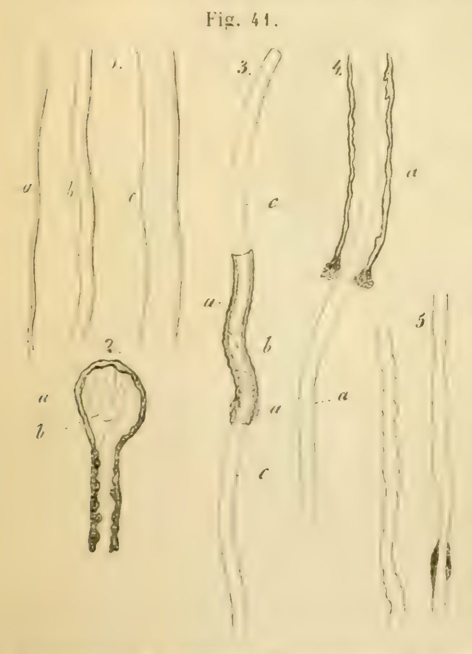
Centrale Nervenzelle (nach Deiters).

eigentliche Zellmembran zu fehlen. In ihr Protoplasma sind zahlreiche Körnchen eingestreut, die in manchen Fällen eine gelbliche oder bräunliche Färbung zeigen, so in dem gelben Flecke der Netzhaut des Auges. Der Kern ist deutlich, gross, rund mit einem oder mehreren Kernkörperchen. Die Grösse der Ganglienzellen ist sehr wechselnd, sie kann so bedeutend werden, dass sie sich mit

freiem Auge als weisse Punkte unterscheiden lassen, von 0,007—0,087mm. Das, was sie vorzüglich vor anderen Zellenformen auszeichnet, ist das massige Ueberwiegen langer Zellenfortsätze über die Zelle selbst. Von verschiedenen Seiten und in verschiedener Anzahl gehen solche Fortsätze: z. Thl. Nervenfasern, von der Nervenzelle ab, erreichen z. Thl. die Länge eines Meters und darüber, wobei sie, gleichsam selbständig geworden, in grosser Anzahl durch Bindegewebe zu einem Nervenstamme vereinigt aus den centralen Nervenmassen, dem Gehirn und Rückenmark hervortreten. Jeder der vielen Fäden, welche sich zu einem Nerven vereinigt finden, steht mit einer Nervenzelle in anatomischer und functioneller Verbindung.

Gehirn und Rückenmark bestehen aus einer Zusammenhäufung von Ganglienzellen und Nervenfasern, eingebettet und zusammengehalten durch ein eigenthümliches Gebilde aus der Gewebsgruppe der Bindesubstanz. Die Vermittelung des Bewegungsantriebes und der Empfindung zwischen Gehirn und Rückenmark geschieht durch Verbindungsfäden der Nervenzellen unter sich, welche aus den einzelnen Zellen eine feingegliederte Kette der Nervenbahnen in dem Centrum der Seelenthätigkeit herstellen.

Fig. 41.



Nervenfasern bei 350maliger Vergrösserung. 1. Vom Hunde und Kaninchen im natürlichen Zustande, *a* feine, *b* mitteldicke, *c* grobe Faser aus peripherischen Nerven. 2. Vom Frosche mit Serumzusatz, *a* durch Druck herausgepresster Tropfen, *b* Axencylinder in demselben in die Rohre sich fortsetzend. 3. Vom Rückenmark des Menschen frisch mit Serum. *a* Hülle, *b* Markscheide doppelrandig, *c* Axencylinder. 4. Doppelrandige Faser des Ventriculus IV des Menschen; der Axencylinder *a* hervorstehend und in der Faser sichtbar. 5. Zwei isolirte Axencylinder aus dem Marke, der eine mit wellenformigen Begrenzungen, der andere mit leichten Anschwellungen und etwas anhängendem Marke.

Verschiedene Ganglienzellen besitzen eine verschiedene Anzahl von Ausläufern, und man bezeichnet die Zellen nach der Zahl ihrer Ausläufer als unipolare, bipolare oder multipolare Zellen; auch die Form der Zellen schwankt, sie können rund, birnförmig, spindel- und sternförmig sein.

Ein Theil der Ausläufer der centralen Nervenzellen verästelt sich und löst sich schliesslich zu ganz feinen Fasern auf, Protoplasmafortsätze, andere, z. B. bei vielen Nervenzellen des Gehirns ein Ausläufer von jeder Zelle, zeigen nach kurzem Verlauf den typischen Bau der peripherischen Nervenfasern: Axencylinderfortsatz (Deiters). Die peripherischen Nervenfasern besitzen eine deutliche Membran, welche einen, wie es scheint, zähflüssigen Inhalt einschliesst, der bei den sogenannten dunkelrandigen Fasern eine Zusammensetzung aus zwei verschiedenen Substanzen zeigt. In der Mitte der Faser liegt ein weniger glänzender Strang, der sogenannte Axencylinder, umgeben von einer stark fettähnlich glänzenden Masse, der

Markscheide. Bei manchen Fasern zeigt sich diese Markscheide, welche bei dem Tode des Nerven eigenthümlich-zackig-bröckelige Formen annimmt, nicht. Diesen Fasern fehlt das glänzende Aussehen der markhaltigen und damit die dunkele Contour, sie werden als blasse Nervenfasern beschrieben, ihr Inhalt scheint nur aus dem Axencylinder zu bestehen (Fig. 41). Sie kommen namentlich in den Nervenendausbreitungen und im Sympathicus vor.

Auch ausserhalb des Gehirns und Rückenmarks in den sympathischen Ganglien finden sich Nervenzellen, Ganglienzellen, eingelagert, welche besonders den unwillkürlichen Bewegungen vorzustehen haben (cf. Sympathicus).

F. Boll halt den Axencylinder für flüssig oder halbflüssig und innerhalb des Marks noch von einer Art von häutiger Hülle direkt umgeben. Einen fibrillären Bau des Axencylinders halt er für im Leben nicht präformirt. Nach Fleischel soll die »Axencylinderflussigkeit« in der lebenden Nervenfaser weit mehr als die Hälfte des Volums der ganzen Faser ausmachen. Kühne und Ewald erklären die Schwann'sche Scheide der Nerven für ein Endothelialrohr, welches seine Zellenleiber den Nerven zuwendet. Die markhaltigen Nervenfasern sollen ausserdem in »Hornscheiden« eingeschlossen sein, welche das Mark umgeben und auch in diesem selbst ein Zwischengeruste von Hornsubstanz darstellen. In marklosen Fasern sollen diese Hornscheiden fehlen.

Zur Entwickelungsgeschichte. — Gehirn und Rückenmark entstehen aus dem Mittelstreifen des obersten Keimblattes, welcher der Axenanlage des Embryo entspricht. Der Tractus olfactorius mit dem Riechkolben, der Sehnerv mit der primitiven Augenblase sind directe Produktion des centralen Nervensystems, eigentliche Gehirnorgane. Ueber die Entstehung der peripherischen Nervenfasern und ihren Zusammenhang mit den Nervenzellen sind die Untersuchungsakten noch nicht geschlossen. Nach der gewöhnlichen Annahme sollen die Ganglienzellen aus gewöhnlichen Bildungszellen entstehen, welche Fortsätze hervorwachsen lassen, mit denen sie mit benachbarten Zellen in Verbindung treten, und die z. Thl. zu Nervenfasern sich gestalten. Die neueren Beobachtungen scheinen wenigstens für den Axencylinder die Annahme zu rechtfertigen, dass er direct aus der Ganglienzelle hervor- und in die Gewebe, die er versorgen soll, hineinwuchert. Seitdem man die bedeutende Länge der quergestreiften Muskelfasern, die einer Zelle entsprechen, kennt, kann aus der Länge der Nervenfasern kein Einwurf gegen ihre Gehörigkeit zu einer Zelle mehr erhoben werden. In analoger Weise, wie man sich nach Schwann früher die Entstehung der Muskelfasern aus einer Reihe unter einander verschmelzender Zellen entstanden dachte, so dachte man sich auch die Nervenfasern aus verschmolzenen Spindelzellen hervorgehen, mit denen sich die Ausläufer der Nervenzellen nachträglich erst in Verbindung setzen sollten. Für die Bildung der kerntragenden äusseren Nervenhülle hält Kölliker vorläufig noch an dieser Ansicht fest, die für den nervösen Theil der Faser für unhaltbar erklärt wird. Die motorischen Kopfnerven, sowie die motorischen Wurzeln der Rückenmarksnerven scheinen nach K. direct aus dem Rückenmark und der Medulla oblongata hervorzuwuchern und entwickeln sich dann centrifugal weiter unter Mitbetheiligung von Elementartheilen des mittleren Keimblattes. Die Ganglien der Cerebrospinalnerven sowie des Sympathicus entwickeln sich selbständig aus dem mittleren Keimblatt und setzen sich erst in der Folge mit einander und mit dem Rückenmark in Verbindung. Die embryonalen Nervenfasern sind sehr viel dünner als die fertig gebildeten, sie erscheinen blass wie die marklosen Fasern.

Zur vergleichenden Anatomie. — Die Ganglienzellen der Wirbelthiere und des Menschen wechseln je nach ihren Standorten sehr bedeutend in der Grösse. Dasselbe ist bei den Wirbellosen der Fall. Muscheln, Insecten, Spinnen haben im Allgemeinen kleine und zarte Ganglienzellen; bei dem Flusskrebs, den Blutegeln und Schnecken beobachtet man sehr grosse; sie können eine solche Ausdehnung erlangen, dass man sie mit freiem Auge bequem sehen

kann. Mit Ausnahme von Petromyzon und den Leptocephaliden haben neben den blassen Fasern alle Wirbelthiere auch dunkelrandige, markhaltige, die den Wirbellosen ganz fehlen, deren Nerven Aehnlichkeit mit embryonalen Nerven besitzen, oder mit den Fasern des Olfactorius, die immer blass (grau) sind. Bei den Arthropoden kommen »kolossale Nervenfasern« vor, mit einem centralen Faserbündel, beim Krebs fand Leydig zu diesen allmälige Uebergänge mit grauen Fasern.

Die Entstehung der Organe.

Die ersten Entwickelungsvorgänge der Eizelle führen, wie wir gesehen haben, zur Bildung der drei Keimblätter, der blattartig über einander geschichteten, anatomisch-physiologischen Anlagen der functionell verschiedenen Gewebe. Wir haben noch einen Blick zu werfen auf die Vorgänge, durch welche sich aus den blattartigen Anlagen die Körpergestalt des Menschen, seine Organe und Organgruppirungen herausbilden.

Im Allgemeinen bildet sich die flache Embryonalanlage zu einem mehrfachen Doppelrohre um, indem zuerst in der Mittellinie der äusseren Fläche der Embryonalanlage eine Furche entsteht, deren Ränder sich erheben, einander zuneigen und schliesslich zu einem Rohre, dem Medullarrohr, verwachsen, welches die Anlage des Gehirns und Rückenmarks des Embryo darstellt. Ihr inneres Lumen wird zum Rückenmarkscanal mit den Hirnhöhlen. An diese obere animale Röhre schliesst sich die Bildung der unteren vegetativen Röhre (Leibeshöhle mit Brust und Bauch) an, deren inneres Lumen das Lumen des (geradegestreckt zu denkenden) Darmrohrs darstellt, an das sich als Ausbuchtungen die meisten Drüsen anschliessen. Die Anlage der vegetativen Röhre bildet sich an der unteren Fläche der Embryonalanlage, indem die Seitenplatten des obersten Keimblattes mit den anliegenden beiden anderen Keimblättern nach unten sich wölben, von allen Seiten gegen einander wachsen und schliesslich so verschmelzen, dass nur noch der Nabel als einzige Lücke offen bleibt. Die bleibenden Leibesöffnungen am oberen und unteren Körperende entstehen erst durch spätere Bildungsvorgänge, die zu Durchbrüchen führen.

Der Embryo schnürt sich durch die Bildung seines vegetativen Leibesrohres unter fortschreitendem Wachsthum zunächst am Kopfende, dann auch seitlich und hinten von dem peripherischen Theil der Keimhaut ab. Nachdem sich zunächst durch vorwiegende Entwickelung das vordere Leibesende zum Kopf gestaltet und eine Spaltung der Seitenplatten in Leibeswand und Darmwand eintritt, wodurch die grossen vorderen Leibeshöhlen angelegt werden, ist der Leib des Embryo in der ersten Anlage fertig. Durch die Entstehung des Herzens und der ersten Blutgefässe im mittleren Keimblatte und durch den Beginn der Circulation des neu entstandenen, embryonalen Blutes gibt sich der Embryo nun schon als ein geschlossener, höherer Organismus zu erkennen.

Baer bezeichnete diese aus den Keimblättern sich bildenden Hauptröhren als Fundamentalorgane. Aus dem oberen Keimblatt entwickelt sich: die Hautröhre und die Röhre des Centralnervensystems; aus dem Mittelblatt, welches bald seitlich in zwei Blätter sich spaltet, entsteht einerseits die Doppelröhre des Knochen- und Muskelsystems, andererseits das umhüllende Röhrengebilde für die aus dem unteren Blatte sich bildende Röhre des Darmepithels. Auch der fertige Wirbelthier-Organismus zeigt, wenn wir von den Extremitäten absehen,

den gleichen typischen Bau aus den zusammengefügten Röhren, aus denen der Embryo sich construirt.

Die Entwickelung des Fruchthofes zur Embryonalanlage schreitet bei dem Säugethierei (Bischoff) in folgender Weise vor. Die Keimblase erreicht einen Durchmesser von über 13mm, gleichzeitig wächst durch Vergrösserung der mittleren Keimschicht der Fruchthof, und es zeigt sich nun als erste Andeutung der Bildung des Embryo ein Gegensatz zwischen einer helleren Mitte: Area pellucida, dem durchsichtigen Fruchthof, und einem dunkleren Randsaum: der Area opaca, dem dunklen Fruchthof. Nun nimmt der runde Fruchthof zunächst eine länglich runde Gestalt an, dann eine eiförmige. In diesem Stadium erscheint die Embryonalanlage als ein längliches, dichteres Schildchen, Axenplatte (Remak), in der Mitte des Fruchthofes, in dessen Mitte eine schmale, die Enden des Schildchens nicht erreichende Furche, die Primitivrinne, erscheint. Die Embryonalanlage wird nun zunächst schwach leierförmig, umgeben mit einem hellen Hofe, der Fruchthof nimmt wieder die runde Gestalt an (Fig. 42).

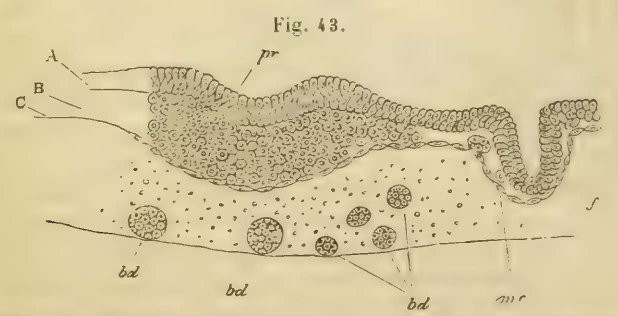
Fig. 42.



Fruchthof der Keimblase eines Kaninchens, etwa 10mal vergr. Der weisse Rand ist die Area opaca, die dunklere breitere Zone die Area pellucida. In dieser zeigt sich die Embryonalanlage mit der Primitivrinne. Nach Bischoff.

Die älteren Autoren haben mit der Primitivrinne, welche nach den neueren Beobachtungen als eine ziemlich rasch vergängliche Bildung erscheint und nicht

Fig. 43.

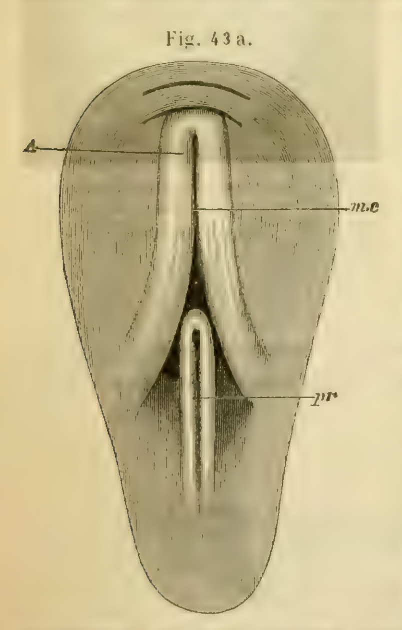


Schnitt durch eine Keimhaut, rechtwinkelig zur Längsaxe des Embryo, nach 8stündiger Bebrütung. (Aus der Mitte zwischen Vorder- und Hinterende). *A* Hautsinnesblatt, *B* Mittelblatt, *C* Darmdrüsenblatt, *pr* Primitivstreif, *f* Falten in der Keimhaut, wahrscheinlich durch die Einwirkung der Chromsäure entstanden; *mr* Zellen des Mittelblatts (die Bezeichnungslinie soll in einer der peripherischen Zellen zwischen Hautsinnes- und Darmdrüsenblatt enden); *bd* Bildungszellen. Die bemerkenswerthesten Theile des Schnittes sind: 1. Die Verdickung des Mittelblatts unter der Primitivrinne, während es seitwärts derselben kaum vorhanden ist. 2. Das Darmfaserblatt ist eben als eine einfache Lage spindelförmiger Zellen entstanden. 3. Die sog. Furchungshöhle, mit geronnenem Eiweiss angefüllt. Die Trennungslinie zwischen Hautsinnes- und Mittelblatt ist etwas zu stark angegeben.

zu einem bleibenden Organe wird, die Bildung der Rückenfurche oder Markrinne in nähere Beziehung gebracht, die letztere fälschlich als eine Art Fortentwickelung der ersteren betrachtet. In der Umgebung der Primitivrinne

(Primitivstreif zeigen sich das Hautsinnesblatt und namentlich das Mittelblatt verdickt, sie erheben sich hier leichtgewölbt über das allgemeine Niveau und dringen auch nach unten tiefer in die Dottermasse ein. Die Primitivrinne erscheint als Einsenkung des Hautsinnesblattes auf der Höhe der äusseren Erhebung der Embryonalanlage, jedoch nimmt auch das Mittelblatt an dieser Einsenkung Theil (Fig. 43'. Das Darmdrüsenblatt zeigt sich histiologisch unverändert. Direkt unter der Rinne zeigen jetzt oberes und Mittelblatt eine Art von unvollkommener Verschmelzung, His' Axenstrang. Die Entstehung der Hirnrückenmarksröhre wird beim Hühnchen, FOSTER und BALFOUR zuerst durch einen dunklen Streifen an dem Vorderende der Primitivrinne angedeutet, der mit einer nach vorne convexen halbkreisförmigen Falte: der Kopffalte, abschliesst. Durch Erhebung der seitlichen Ränder dieses Streifens entsteht eine nach vorne durch die Kopffalte geschlossene, nach hinten sich etwas erweiternde Rinne, welche zwischen ihre nach hinten divergirenden Schenkel die Primitivrinne aufnimmt. Die seitlichen Erhebungen dieser zweitgebildeten Rinne sind die Rückenwülste, laminae dorsales, die Rinne selbst die Rückenfurche oder Markrinne, welche durch Zusammenneigung ihrer Ränder sich bald zur Hirnrückenmarksröhre schliesst, während die Primitivrinne sich allmählig zurückbildet und verschwindet. Schon in dieser Periode tritt vor der Kopffalte noch eine zweite kleine Falte auf, die erste Andeutung der Amnionfalte, welche den Embryo schliesslich ganz umwächst (Fig. 43a). Unter der Rückenfurche entsteht durch Differenzirungsvorgänge im Mittelblatt zwischen Hautsinnes- und Darmdrüsenblatt ein etwas abgeflachter, stabförmiger Strang: die Rückensaite oder Chorda dorsalis, seitlich von ihr zeigt sich das Mittelblatt jederseits verdickt. Die Chorda dorsalis wird später knorpelig und ist der Vorläufer der bleibenden Wirbelsäule. Ihr vorderes Ende spitzt sich zu, das hintere verdickt sich spindelförmig. Die seitlichen Theile des mittleren Keimblattes neben der Chorda dorsalis werden als Urwirbelplatten bezeichnet, der mittlere Theil des oberen Blattes, soweit dasselbe in die Rinne der Rückenfurche hineingezogen ist, als Medullarplatte, die Seitentheile der Embryonalanlage heissen von dem oberen Blatt: Hornblatt, von dem mittleren: Seitenplatten. Doch ist eine scharfe Trennung in diesem Entwickelungsstadium noch nicht gegeben. Eine

Fig. 43 a.

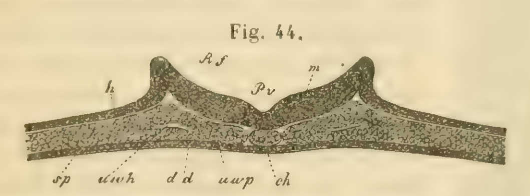


Flächenansicht des hellen Fruchthofs einer Keimhaut von 18 Stunden. Der dunkle Fruchthof ist weggelassen: der birnförmige Umriss bezeichnet die Grenzen des hellen Fruchthofs. Am hintern Ende sieht man die Primitivrinne *pr* mit parallelen, gerade nach hinten verlaufenden Rändern, die vorn sich gegen einander umbiegen und sich vereinigen, wodurch die Furche in der Mitte des Fruchthofs deutlich endigt. Ueber dieser Primitivrinne liegt die Rückenfurche *mc* mit den Rückenwülsten *A*. Diese gehen hinten auseinander und krümmen sich auf beiden Seiten der Primitivrinne nach aussen, vorn verschmelzen sie dagegen dicht vor einer gebogenen Linie, welche die Kopffalte vorstellt. Die zweite vor der letzterwähnten liegende Falte ist die entstehende Amnionfalte.

Differenzirung im unteren Keimblatt (Darmdrüsenblatt) ist noch nicht erfolgt (Fig. 44).

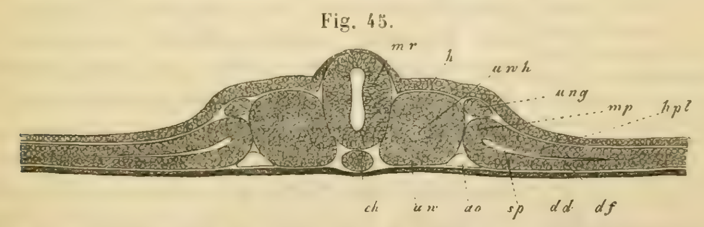
Indem die Ränder der Rückenfurche emporwachsen und sich gegen einander neigen, kommt es zu einer Berührung und endlich Verwachsung der in den Rückenwülsten erhobenen Ränder der Medullarplatte und der angrenzenden Theile des Hornblattes, so dass aus der mittleren Partie des sensoriellen Blattes (der Medullarplatte) ein geschlossener Canal hervorgeht, über welchen sich die Hornplatten, die seitlichen Theile des sensoriellen Blattes, von einer Seite zur andern herüberziehen. Auch die Urwirbelplatten wuchern gleichzeitig empor, es kommt aber noch nicht zu einer vollkommenen Umwachsung des neugebildeten Medullarrohres, über dessen halbe Höhe sie zunächst hinausreichen. Die Verwachsung des Medullarrohres beginnt in der künftigen Nackengegend und schreitet von hier nach vorn und hinten fort, am spätesten erfolgt der Verschluss am hinteren Ende (Figg. 44, 45).

Fig. 44.



Querschnitt durch die Anlage eines Hühnerembryo vom Ende des ersten Tages, 90—100mal vergr. *ch* Chorda; *uwp* Urwirbelplatte mit einer Spalte *uwh*, vielleicht der ersten Andeutung der spätern Höhle der Urwirbel; *sp* Seitenplatten mit den Urwirbelplatten hier noch verschmolzen, *dd* Darmdrüsenblatt, *h* Hornblatt, *m* Medullarplatte. Beide zusammen sind in eine starke Falte, die Medullarwülste oder Rückenwülste, erhoben, die die breite Rückenfurche *Rf* begrenzen, in deren Mitte noch die Primitivrinne *Pr* sichtbar ist.

Fig. 45.



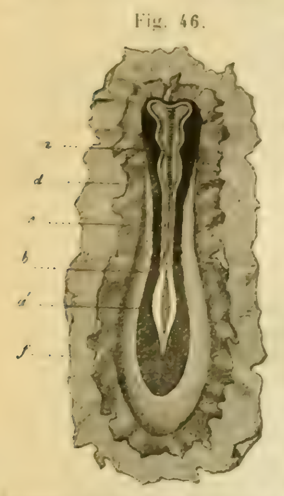
Querschnitt durch einen Hühnerembryo vom zweiten Tage, 90—100mal vergr. *dd* Darmdrüsenblatt, *ch* Chorda, *uw* Urwirbel, *uwh* Urwirbelhöhle, *ao* primitive Aorta, *ung* Urnierengang, *sp* Spalte in den Seitenplatten (erste Andeutung der Pleuroperitonealhöhle), die durch dieselbe in die Hauptplatten *hpl* und Darmfaserplatten *df* zerfallen, die durch die Mittelplatten *mp* unter einander zusammenhängen, *mr* Medullarrohr (Rückenmark), *h* Hornblatt, stellenweise verdickt.

Am vorderen Ende der sich zum Medullarrohre vereinigenden Rückenfurche bilden sich blasige Auftreibungen: Hirnblasen, die Anlage der Hauptabschnitte des Gehirns, und nahe am hinteren Ende eine Erweiterung: der Sinus rhomboidalis. Nach der Anlegung der Rückenfurche entstehen etwa ihrer Mitte entsprechend im Mittelblatte neben der Chorda dorsalis durch Ausbildung schmaler Spalträume in den Urwirbelplatten die etwa würfelförmigen Urwirbel. Sie zeigen sich von oben gesehen zunächst als 2 oder 3 Paare vierseitiger, dunkler, durch helle, schmale Zwischenräume von einander getrennte Flecken, die sich bald, indem neue Paare meist hinter, einige (2—3 Paar) aber auch vor den ersten entstehen, vermehren. Sie sind die Anlagen und Vor-

läufer der Wirbelsäule und ihrer Muskeln und der Nervenwurzeln. Die ersten Urwirbel entsprechen dem dritten oder vierten Halswirbel. Daraus ergibt sich, dass die Hälfte der Embryonalanlage auf den Kopf, etwas über ein Viertel auf die vordere Halsgegend und das letzte Viertel auf die gesammten unteren Körperabschnitte trifft (Figg. 45 und 46).

Die Bildung der vegetativen Röhre, des Bauches im weitesten Sinne des Wortes, geschieht in der Weise, dass die Seitenplatten nicht nur von rechts nach links sich zusammenneigen, sondern vor allem auch zunächst von vorn nach hinten und von hinten nach vorn zu wuchern beginnen und also von allen Seiten nach unten concentrisch vorrücken, um sich endlich nicht in einer gemeinsamen Längsnaht wie die Rückenfurche, sondern in einer kleinen Kreisfläche, dem Nabel, zu vereinigen. Dadurch schnürt sich der nach unten rinnenförmig werdende Embryo von der Eiblase mehr und mehr ab. Die Abschnürung (Kopffalte) beginnt zuerst am Kopfende, indem die Seitenplatten, hier mit den Urwirbelplatten zu den Kopfplatten verschmolzen, von vorn und von den Seiten her mit ihren Rändern nach unten gegen den Dotter zu sich gegen einander krümmen. Dadurch hebt sich das Kopfende der Embryonalanlage von dem Fruchthofe ab und bildet sich auf der Unterfläche der Embryonalanlage eine kleine, nach vorn geschlossene Höhle: Kopfdarmhöhle (Fovea cardiaca, Wolff). In analoger Weise (zunächst durch Entwickelung einer der Kopffalte analogen Schwanzfalte) entsteht später am hinteren Ende der Embryonalanlage die Beckendarmhöhle, und nun beginnen sich auch die Ränder der Seitenplatten nach abwärts zu krümmen. Man pflegt jetzt die Gestalt der Embryonalanlage mit einem Schuh zu vergleichen (Fig. 47). Man denkt sich dabei als vorderes Blatt des Schuhes die Kopfdarmhöhle, der Fersentheil ist die seichtere Beckendarmhöhle, die Seitenwände des Schuhes werden durch die sich gegen einander krümmenden Ränder der Seitenplatten gebildet, die Ränder der schuhförmigen Anlage gehen in die Keimblase über. In diesem Stadium ist der Nabel noch sehr weit, er ist die weite Oeffnung der schuhförmigen Anlage, von ihm aus gelangt man nach vorn durch den vorderen Darmeingang in die Kopfdarmhöhle, nach hinten in die Beckendarmhöhle durch den hinteren Darmeingang.

Fig. 46.



Embryonalanlage eines Hundeeies, etwa 10mal vergr. Nach Bischoff. *a* Rückenfurche, hier mit 3 Erweiterungen und 2 Einschnürungen, Andeutungen der aus diesem Theile der Medullarplatte sich entwickelnden 3 Hirnblasen, *a'* Erweiterung der Rückenfurche in der Lendengegend (Sinus rhomboidalis), *b* Medullarplatte, *c* Seitenplatten, *d* äusseres und mittleres Blatt der Keimblase, *f* inneres Blatt derselben. In der Mitte sind sechs Urwirbel sichtbar, und in der Mitte der Rückenfurche sieht man die durchschimmernde Chorda dorsalis.

Schon vor der Bildung der Urwirbel aus den Urwirbelplatten beginnen die von den Urwirbelplatten noch nicht getrennten Seitenplattenmassen sich durch einen horizontalen Schlitz in zwei über einander liegende Schichten zu spalten, auf die Urwirbelplatten erstreckt sich diese Spaltung nicht (Fig. 44). Die obere durch die Spaltung entstandene Schicht: Hautfaserblatt, legt sich dicht an das Hautsinnesblatt an und bildet mit ihm die Körperseitenplatte, die

untere Schicht: das Darmfaserblatt, tritt zu dem Darmdrüsenblatt und bildet mit ihm die Darmseitenplatte. Die dadurch entstehende, mit Flüssigkeit sich erfüllende Höhle ist die Anlage der grossen serösen Körperhöhle, welche später in mehrere Abschnitte zerfällt, man bezeichnet sie als Pleuroperitonealhöhle.

In dem vorderen Theile der Kopfdarmhöhle: der Schlundhöhle bleiben die Seitenplatten (Schlundplatten Remak's) ungespalten. Der hintere Theil der Kopfdarmhöhle zeigt dagegen die besprochene Spaltungslücke, welche hier von den älteren Autoren als Herzhöhle benannt wurde, da hier die ersten Anlagen des Herzens (cf. dieses), von der Darmfaserplatte abstammend, auftreten.

Fig. 47



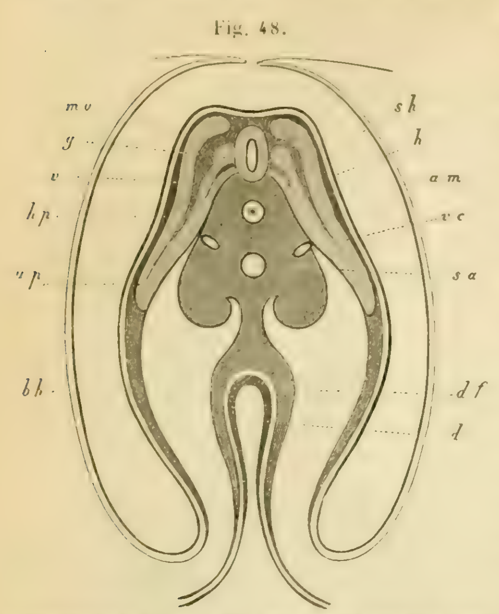
Derselbe Embryo, den Fig. 46 darstellt, von der Seite, *a* abgetrennte äussere Lamellen der Keimblase. Das Offenstehen der Rückenfurche und die Abschnürung des Kopfes sind deutlich.

Fig. 45 stellt die weiteren Stadien des Spaltungsvorgangs der Seitenplatten in Hautfaserplatte und Darmfaserplatte dar, dessen Anfänge Fig. 44 erkennen lässt. Die Urwirbelplatten (resp. Urwirbel) sind von den gespaltenen Seitenplatten getrennt. Nach aussen verschmelzen beide Spaltungsplatten in das ungetheilte mittlere Keimblatt des Fruchthofes, nach innen verbinden sie sich bogenförmig und erhalten die Bezeichnung Mittelplatte, wo sie an die Urwirbel, an die beiden primitiven Aorten und und die Urnierengänge angrenzen. Die Spaltungslücke geht wie ein spaltförmiger Canal durch den ganzen Randtheil des Embryo und vereinigt sich am hinteren Ende desselben mit der der anderen Seite und vorn durch die oben beschriebene Herzhöhle, so dass die Embryonalanlage nur oben und in der Mittellinie (wo sich später das Mesenterium zeigt) diese Spaltung nicht besitzt. Der Darm bildet sich zunächst als eine rinnenförmige Eintiefung des Darmdrüsenblattes direct unterhalb der Chorda dorsalis: Darmrinne.

Der Spaltungsprocess der Hautplatten schreitet eine Strecke weit über den Bereich des Embryo heraus in den Fruchthof und den peripherischen Theil der Keimhaut vor. Die dem Embryo zunächst anliegenden Theile der Hautplatten biegen sich, mit dem Hornblatt überzogen, gegen die Mittellinie zur Bildung der Bauchwand gegen einander, die peripherischen Theile dieser beiden Blätter erheben sich dagegen über den Embryo als Amnionfalte, um ihn endlich als Amnion ganz zu umschliessen. Indem die Mittelplatten nach innen wuchern und zu einer unpaaren Masse verschmelzen, aus der auch das Gekröse hervorgeht, wird durch das Dazwischenschieben der aus den Mittelplatten entstehenden Gebilde das Darmdrüsenblatt, resp. die Darmrinne, von der Chorda dorsalis mehr und mehr abgeschoben. Die Verhältnisse, welche dadurch entstanden sind, demonstrirt die umstehende Zeichnung nach Remak (Fig. 48). Die Bauchhöhle ist durch die Hautplatten *hp* (*bh*) fast geschlossen, die sich nach aussen zur Amnionfalte erheben. Innerhalb der Bauchhöhle ist der stark rinnenförmige Darmcanal, dessen Darmfaserplatte *df* und Drüsenplatte *d* in die

betreffenden Häute der peripherischen Keimschicht des Dottersacks oder der Nabelblase übergehen. Befestigt wird der Darm durch ein Gekröse, das von einer vor der Chorda und der Anlage der Wirbelsäule gelegenen Masse (den vorgewucherten Mittelplatten oder Gekrösplatten) ausgeht und die jetzt unpaare Aorta *sa* und die Cardinalvenen *vc* einschliesst.

Fig. 48.



Querdurchschnitt durch den Rumpf eines 5tägigen Embryo in der Nabelgegend. Nach REMAK. *sh* Scheide der Chorda, *h* Hornblatt, *am* Amnion, fast geschlossen, *sa* secundäre Aorta, *vc* Venae cardinales, *mv* Muskelplatte, *g* Spinalganglion, *v* vordere Nervenwurzel, *hp* Hauptplatte, *up* Fortsetzung der Urwirbel in die Bauchwand (Urwirbelplatte, REMAK), *bh* primitive Bauchwand aus der Hautplatte und dem Hornblatt bestehend, *df* Darmfaserplatte, *d* Darmdrüsenblatt, beide hier, wo der Darm im Verschlusse begriffen ist, verdickt. Die Masse um die Chorda ist der in Bildung begriffene Wirbelkörper, die vor den Gefässen enthält in den seitlichen Wülsten die Urnieren und setzt sich in der Mitte ins Gekröse fort.

Auf diese Weise kommt es endlich zur vollkommenen Abschnürung des Embryo von dem Reste der Keimblase, der dann den Namen Nabelblase (bei Eiern mit Nahrungsdotter: Dottersack) erhält. Die immer enger werdende, sich canalartig ausziehende Communicationsöffnung der Bauchhöhle des Embryo (Darmlumen) mit der Nabelblase heisst Nabelgang: Ductus omphalo-entericus, die ringförmige Abschnürungsfalte Nabel.

Die wesentlichsten Differenzirungen im Innern der Embryonalanlage fallen dem mittleren Blatte zu. Die Urwirbel, welche anfänglich als solide Zellenaggregate auftreten, zeigen bald einen analogen Spaltungsvorgang, wie die Seitenplatten, es entsteht eine sich später wieder ausfüllende Hohle, deren obere Wand zu einem besonderen Gebilde, der Muskelplatte, wird, während der untere Theil als eigentlicher Urwirbel fortbesteht. In der Folge umwachsen die eigentlichen Urwirbel die Chorda und das Rückenmark, letzteres, indem sich eine dünne Lamelle zwischen Rückenmark und Hornblatt einschiebt und schliesslich mit derjenigen der entgegengesetzten Seite verschmilzt: häutige Wirbelbogen oder obere Vereinigungshaut. Die Umwucherung der Chorda umschliesst zunächst die untere Seite derselben, später wächst ein dünnes Blatt zwischen Rückenmark und Chorda hinein. So entsteht zunächst eine vollkommen zusammenhängende häutige Wirbelsäule mit einer Doppelhöhle, von der die obere das Rückenmark, die untere die Chorda umschliesst. In dieser häutigen Wirbelsäule treten sofort neue Gliederungen auf, indem in den Abschnitten, welche den mittleren Theilen der früheren Urwirbel entsprechen, neue Trennungslinien auftreten, welche die Grenzen der bleibenden Wirbelkorper bezeichnen. Jeder Urwirbel zerfällt dadurch in zwei durch den Intervertebralknorpel geschiedene Hälften, je zwei an einander grenzende Urwirbel vereinigen sich zu einem bleibenden Wirbelkörper. Bald nach der Schliessung der häutigen Bogen über dem Rückenmark entwickelt sich in denselben die Anlage der Knorpelbogen, der vorderen und hinteren Nervenwurzeln sammt den Spinalganglien.

Auch zur Ausbildung der Bauchwand tragen die Urwirbel auf das Wesentlichste bei. Die ursprüngliche Bauchwand besteht aus dem Hornblatte und der äusseren Spaltungslamelle

der Seitenplatten, von denen die innere zur Darmfaserschicht, zum Gekröse etc. sich umgebildet hat. Der äusseren Spaltungslamelle der Seitenplatten gibt man den Namen: Hautplatten. Sie verwachsen mit den Urwirbeln, und nun beginnen die Muskelplatten, die Spinalnerven und die Wirbelbogen (Rippenanlage etc.) (Bestandtheile, in welche sich der Urwirbel nach der obigen Darstellung differenzirte), die zusammen als Bauchplatten benannt werden, in die Hautplatten hineinzuwuchern, wodurch die Hautplatten in eine dickere äussere (Cutis) und in eine dünnere innere Lamelle (Auskleidung der Pleuroperitonealhöhle) gespalten werden (cf. Abbildung Nr. 48). Die Bauchwand besteht nun aus folgenden Schichten: 1) dem Hornblatt (vom Hautsinnesblatte), der Anlage der Epidermis; 2) der äusseren, dickeren Lage der Hautplatten (der oberen Spaltungslamellen der Seitenplatten vom mittleren Keimblatte), der Anlage der Cutis; 3) der von dem Urwirbel abgespaltenen fortgewucherten Muskelplatte oder der Anlage der visceralen Muskeln, z. B. Intercostales etc.; 4) und 5) der in einer Schicht liegenden, auch von den Urwirbeln stammenden Anlage der Rippen und Intercostalnerven und 6) der inneren Schicht (in der Abbildung unter *up* nur als Linie dargestellt) der Hautplatte oder der Anlage der serösen Auskleidung der Pleuroperitonealhöhle. Lange ehe die Elemente der Bauchplatten die vordere Mittellinie des Bauches erreicht haben, verknorpeln die Rippenanlagen und bilden sich die einzelnen, bleibenden Muskeln aus. Sie schieben sich durch fortschreitendes Wachsthum in der ursprünglichen Bauchwand (Hautplatten) weiter, bis sie entweder, wie die Mm. recti abdominis, in der vorderen Mittellinie des Bauches sich berühren oder, wie die Rippen (mit dem Brustbein), selbst verwachsen.

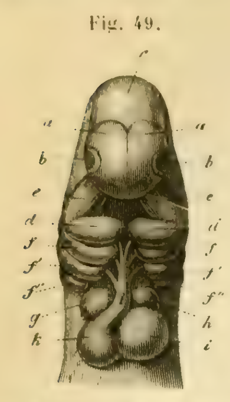
Der Rücken wird dadurch vollendet, dass in den häutigen Bogen die verknorpelnden Wirbelbogen einander entgegenwachsen und in der späteren Folge verschmelzen. Auch die Hautplatten vereinigen sich in der Mittellinie, zu der sie, wie auch die Muskelplatten, von beiden Seiten heraufwuchern; aus ihnen entstehen Knochen, Muskeln, Nerven und Rückenhaut.

Die Extremitäten zeigen sich zuerst als Verdickungen der Hautplatten, die als kleine Stummel hervortreten, an deren Ende (Remak) eine bedeutende Verdickung des sie überziehenden Hornblattes auffällt. Bei der weiteren Entwickelung wuchert in diese Anlage ein Auswuchs der Urwirbel hinein, an welchem sich die Muskelplatte und der Spinalnerv zu betheiligen scheinen. Die in die Extremitätenanlage hineinwuchernden Nerven erscheinen im Anfange als verhältnissmässig ungemein mächtige Bildungen.

Am Kopfe und Halse tritt keine Trennung der Urwirbelplatten und Seitenplatten in Urwirbel ein. Es finden sich am Kopf keine Urwirbel und auch in der Folge, so lange er noch knorpelig ist, keine Wirbelabtheilungen oder Wirbelbögen. Früh umwachsen in analoger Weise wie bei der Bildung der Wirbelsäule die Urwirbelplatten die Chorda von oben und unten, und später auch das Gehirn, wodurch eine zunächst häutige Schädelkapsel gebildet wird, die sich in der Folge in einen äusseren Theil, die Schädelhaut, und in einen inneren, die knöcherne Schädelkapsel, differenzirt. In den Wänden der Bauchseite des Kopfes und Halses (aus Hornblatt und Seitenplatten bestehend) erleiden die mit den Urwirbelplatten verschmolzenen Seitenplatten eine von ersteren ausgehende Verdickung, welche die vordere Mittellinie zuerst nicht erreicht. Dann bilden sich seitlich je 4 Spalten: Schlund- oder Kiemenspalten (begrenzt von den Kiemenbogen), welche von aussen bis in den Schlund führen, und aus der ersten dieser Spalten — unter dem Ende des Gehirns, in der unteren Mittellinie — entsteht durch Einbuchtung und Durchbrechen von aussen der Mund. Die Theile, welche die erste, zweite und dritte Spalte von vorn her begrenzen, verdicken sich und erhalten die Bezeichnung Schlundbogen. Bei dem Säugethier sind vier vorhanden. (Fig. 49.) In der beistehenden Figur eines Hundeembryo hat man das Herz und den Raum zwischen den Kiemenbogen von einer dünnen Haut, der primitiven Brustwand, bedeckt zu denken. Die drei ersten Kiemenbogen sind am Ende kolbig und erscheinen als gegen einander gekrümmte, rippenähnliche Bogen. Während die ersten Bogen sich berühren (Unterkieferfortsatz), weichen die folgenden mehr von einander ab, nur verbunden durch die ursprüngliche dünne Halswand, welche hier die primitiven Aortenbogen deckt. Am ersten Kiemenbogen findet sich ein kleiner Ausläufer: Oberkieferfortsatz, welcher nach oben den Mund umgibt.

Von den Kiemenspalten bleibt für das spätere Leben nur die erste bestehen, welche zum äusseren und mittleren Ohr wird. Ein Theil der Kiemenbogen verschwindet, ein anderer Theil verwandelt sich in länger oder ganz sich erhaltende Theile, den »MECKEL'schen Fortsatz«, der bei Embryonen vom Hammer aus in den Unterkiefer sich erstreckt, ein ziemlich starker cylindrischer Knorpelstrang, der wie später der sich von ihm erhaltende Processus Folianus mit dem Hammer sich verbindet. Er schwindet im achten Monat. Er entsteht aus dem ersten Kiemenbogen. An der Aussenseite des MECKEL'schen Fortsatzes entsteht 1) der Unterkiefer. 2) Hammer und Ambos sind Entwickelungen des Unterkieferfortsatzes des ersten Kiemenbogens. Sein Oberkieferfortsatz liefert 3) die Gaumen- und Flügelbeine. Der zweite Kiemenbogen liefert vor allem 4) den Steigbügel mit dem Musculus stapedius. Der dritte Kiemenbogen liefert 5) den Zungenbeinkörper und dessen grosse Hörner.

Fig. 49.



Kopf eines Embryo, von unten gesehen, mehr vergr. Nach BISCHOFF. *a* Vorderhirn, *b* Augen, *c* Mittelhirn, *d* Unterkieferfortsatz, *e* Oberkieferfortsatz der ersten Kiemenbogen, *f f' f''* 2—4 Kiemenbogen, *g* linkes, *h* rechtes Herzohr, *k* rechte, *i* linke Kammer, *i* Aorta mit 3 Paar Arcus aortae.

Durch das fortschreitende Wachsthum der schuhförmigen Embryonalanlage erleidet dieselbe ganz constant Krümmungen. Zunächst entwickelt sich der Kopf durch die rasche Ausbildung des Gehirns immer mächtiger und schnürt sich mehr und mehr von der Keimblase ab und wölbt sich empor, wobei er eine doppelte Krümmung erleidet. Die erste fast rechtwinkelige Krümmung: vordere Kopfkrümmung biegt den Kopf in der Gegend der zweiten Hirnblase in einen hinteren und vorderen Theil ab. An der Grenze des verlängerten Marks und Rückenmarks findet sich eine zweite rechtwinkelige Krümmung: hintere Kopfkrümmung, Nackenhöcker. Eine ähnliche Krümmung erleidet der Embryo später am entgegengesetzten Körperende (Schwanzkrümmung). Mit der weiteren Ausbildung des Halses hebt sich und streckt sich der Kopf wieder in die Höhe. Auch eine spiralförmige Drehung von links nach rechts (besonders bei den Schlangen ausgeprägt) zeigt der Wirbelthierembryo. Von oben betrachtet liegt dann der Kopf im Profil, während der Rücken nach oben gerichtet ist.

Im allgemeinen Ueberblick erkennen wir (KÖLLIKER), dass der Leib der Wirbelthiere sich entwickelt aus drei Keimblättern und sechs primitiven Organen, von denen zwei paarig sind. Diese primitiven Organe sind: 1) das Hornblatt; 2) die Medullarplatte, beide aus dem obersten Keimblatt; 3) die Chorda; 4) die Wirbelplatten; 5) die Seitenplatten aus dem mittleren Keimblatt und 6) das Darmdrüsenblatt, das untere Keimblatt.

KÖLLIKER fasste in einer älteren Publication die ersten Entwickelungszustände übersichtlich in folgender Weise zusammen:

»Die morphologischen Vorgänge bei der Umbildung der drei Keimblätter in die aufgezählten Organe sind im Einzelnen sehr verschieden; doch findet sich ein Gedanke überall wieder, der der Umbildung von Blättern oder hautartigen Anlagen in Röhren. Wenn man zuerst von den späteren Umgestaltungen des mittleren Keimblattes absieht, so ist das Grundphänomen bei der Bildung des Wirbelthieres das, dass aus der blattartigen Anlage durch paarige Wucherungen von einer Axe nach oben und unten (Evolutio bigemina von BAER), genauer bezeichnet: durch Umbiegen der Seitenwände nach unten und Bildung von Längswülsten neben der oberen Mittellinie, die dann zu einem Canal schliessen, ein Leib mit einer oberen Nervenhöhle und einer unteren Visceralhöhle entsteht. Das äussere Keimblatt erzeugt dabei nothwendig eine Doppelröhre, nämlich einmal die Umhüllung des Ganzen oder das Hornblatt (Epidermis) und zweitens mit seinem mittleren Theil das Nervenrohr, während das untere Blatt (Darmdrüsenblatt) nur eine einfache Röhre bildet, das Darmepithelialrohr. Das mittlere Keimblatt liefert die Axe, die Chorda, und dann die Begrenzungen des Nerven- und Eingeweiderohrs oder die Urwirbel und die Seitenplatten, welche die betreffenden Röhren freilich

anfänglich nicht vollkommen umgeben. Ist so die erste Anlage gegeben, so wird dieselbe einzig und allein durch Leistungen des mittleren Keimblattes vervollständigt. Statt der primitiven Axe entsteht eine bleibende dadurch, dass die Urwirbel die Chorda umwachsen und so die Wirbelkörperanlagen liefern. Der übrige Theil der Urwirbel dient zur Vervollständigung der Rücken- und Bauchwand. Der ersteren liefert er durch Spaltung in verschiedene Lagen und zugleich durch Wucherung nach der oberen Mittellinie zu die Hüllen des Medullarrohrs, die Wirbelbogen und Nervenstämme und durch die Muskelplatte auch die tieferen Muskelschichten (die vertebralen Muskeln, ARNOLD) und die Haut; der letzteren gibt er ebenfalls die Knochen (Rippen und Brustbein), die Muskeln (visceralen Muskeln, ARNOLD) und Nerven, welche Theile alle aus den Seitentheilen der ursprünglichen Urwirbel hervorsprossen, d. h. von den Wirbelbogen, der Muskelplatte und den Nervenstämmen aus in die Seitenplatten hineinwachsen, die dadurch in eine Cutisschicht und in eine innere Lage (Darmfaserhaut oder, wie im Bereich der Pleuroperitonealhöhle, in die Serosa) gespalten wird. Während dies geschieht, wuchern die Seitenplatten, die im ganzen Bereich der Pleuroperitonealhöhle in eine äussere Hautplatte und eine innere Darmfaserplatte sich gespalten haben, mit ihrem inneren Ende nach innen unter der Axe durch zur Vervollständigung der Darmwand und zur Erzeugung des Gekröses, wo ein solches vorhanden ist. Wo Extremitäten vorkommen, sind sie Erzeugnisse der Seitenplatten, und zwar der äusseren Schicht derselben, welche an der Grenze gegen den Rücken einmal zu Muskel- und Knorpelanlagen sich differenziren, die dann zur Bildung des Extremitätengürtels und seiner Muskeln in die Rücken- und Bauchwand hineinwuchern und zweitens durch mächtige Wucherung nach aussen die Anlage der eigentlichen Extremitäten erzeugen, welche dann unter Mitbetheiligung der von den Urwirbeln aus einwachsenden Nerven wieder in ihre einzelnen Theile sich sondert. So entsteht durch ein merkwürdiges Ineinandergreifen der Leistungen der Urwirbel und Seitenplatten das ganze verwickelte innere Gefüge des Inneren des Leibes.«

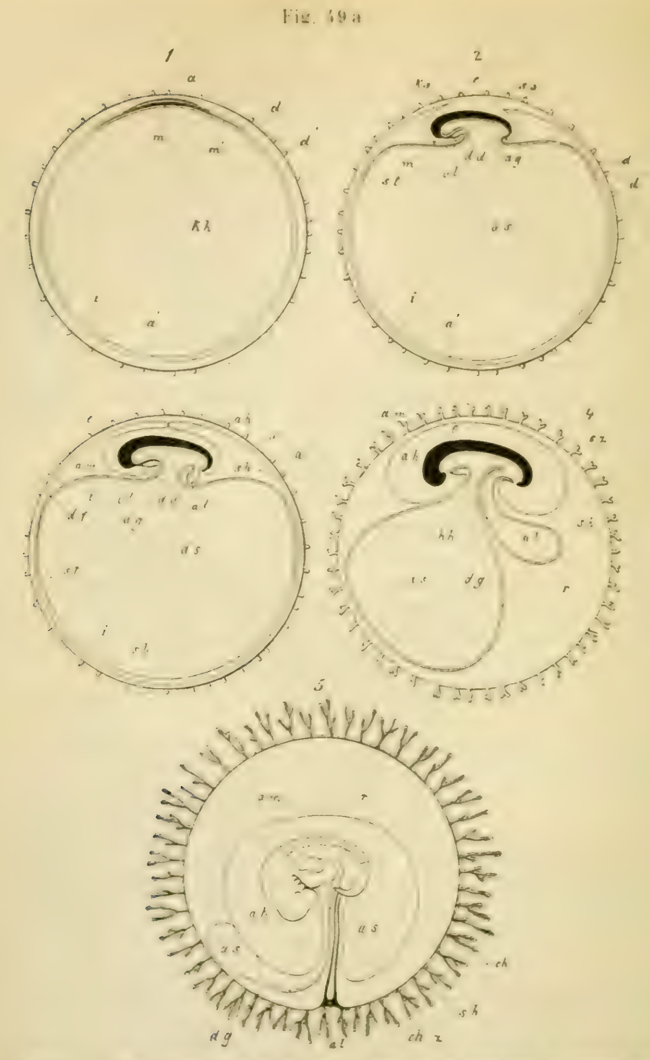
Die Entwickelung der Blutgefässe sowie der weiteren einzelnen Organe wird im speciellen Theile gebracht werden.

Es erübrigt noch eine Andeutung über die Bildung der fötalen Eihüllen, deren Bildung durch die umstehende Figur 49ª erläutert wird.

Die Bildung des Amnion ist schon oben in ihren Grundlagen dargestellt. Es ist (wenigstens bei dem Hühnchen) eine Fortsetzung der gesammten Haut, mit einer Epithelialschicht und einer (contractilen) Faserschicht, welche beide unmittelbare Fortsetzungen der Hautplatte sind. Es entsteht zunächst als eine durchsichtige, dem Embryo eng anliegende Falte, die sich über den Embryo erhebend endlich zu einer zarten Blase verwächst und von den Rändern der unteren Leibesöffnung ausgeht. Das Amnion hat zu keiner Zeit selbständige Gefässe.

Nach BISCHOFF entsteht die Allantois, der Harnsack, der Säugethierembryonen als eine ursprünglich solide doppelte Wucherung der vorderen Beckenwand, die nachträglich einfach und hohl wird und sich mit dem Mastdarm in Verbindung setzt, so dass das Drüsenblatt desselben die hohlgewordene Allantoisanlage auskleidet. Die Allantois spielt für die Ernährung des Embryo eine sehr wichtige Rolle als Trägerin der Umbilikalgefässe. Die Allantois erscheint, wie gesagt, zuerst solid aus Zellen zusammengesetzt, bald bemerkt man in dem birnförmig werdenden Gebilde eine Höhle. Das so entstandene Bläschen vergrössert sich mehr und mehr, wird gestielt und trennt sich von der Wand der Beckendarmhöhle und tritt, wie schon erwähnt, mit dem Hinterdarm in Communication. Sehr früh entwickeln sich Gefässe auf der Allantois, die zu einer grösseren, ausserhalb des Embryo zwischen Dottersack und Amnion gelegenen Blase wird, welche mit einem hohlen Stiel (Urachus oder Harngang) mit der vorderen Wand des Mastdarms in Verbindung steht. Der Urachus obliterirt zum Ligamentum vesicae medium, das bei dem Erwachsenen von dem Harnblasenscheitel zum Nabel führt. Die arteriellen Allantois-Gefässe erscheinen zunächst als Enden der beiden primitiven Aorten (Aa. vertebrales posteriores), später als stärkste Ausläufer derselben, sie heissen Aa. umbilicales. Aus einem zarten Netz, das sie auf der Allantoisblase bilden, gehen

Fig. 39 a



Fünf schematische Figuren zur Darstellung der Entwickelung der fötalen Eihüllen, in denen allen, mit Ausnahme der letzten, der Embryo im Längsschnitte dargestellt ist. 1. Ei mit Zona pellucida, Keimblase, Fruchthof und Embryonalanlage. 2. Ei mit in Bildung begriffenem Dottersacke und Amnion. 3. Ei mit sich schliessendem Amnion, hervorsprossender Allantois. 4. Ei mit zottentragender seröser Hülle, grösserer Allantois, Embryo mit Mund- und Anusöffnung. 5. Ei, bei dem die Gefässschicht der Allantois sich rings an die seröse Hülle angelegt hat und in die Zotten derselben hineingewachsen ist, wodurch das ächte Chorion entsteht. Dottersack verkümmert. Amnionhöhle im Zunehmen begriffen. — *d* Dotterhaut, *d'* Zöttchen der Dotterhaut; *sh* seröse Hülle; *sz* Zotten der serösen Hülle; *ch* Chorion (Gefässschicht der Allantois); *chz* ächte Chorionzotten (aus den Fortsätzen des Chorion und dem Ueberzuge der serösen Hülle bestehend); *am* Amnion; *ks* Kopfscheide des Amnion; *ss* Schwanzscheide des Amnion; *ah* Amnionhöhle; *as* Scheide des Amnion für den Nabelstrang; *a* der Embryonalanlage angehörende Verdickung im äusseren Blatte der Keimblase *a'*; *m* der Embryonalanlage angehörende Verdickung im mittleren Blatte der Keimblase *m'*, die anfänglich nur so weit reicht, als der Fruchthof, und später die Gefässschicht des Dottersacks *df* darstellt, die mit der Darmfaserplatte zusammenhängt; *st* Sinus terminalis; *dd* Darmdrüsenblatt, entstanden aus einem Theile von *i*, dem innern Blatte der Keimblase (späteren Epithel des Dottersacks); *kh* Höhle der Keimblase, die später zu *ds*, der Höhle des Dottersacks, wird; *dg* Dottergang; *al* Allantois; *e* Embryo; *r* ursprünglicher Raum zwischen Amnion und Chorion, mit eiweissreicher Flüssigkeit erfüllt; *vl* vordere Leibeswand in der Herzgegend; *hh* Herzhöhle ohne Herz dargestellt. — In Fig. 2 und 3 ist der Deutlichkeit wegen das Amnion zu weit abstehend gezeichnet. Ebenso ist die Herzhöhle überall zu klein gezeichnet und auch sonst manches, wie besonders der Leib des Embryo mit Ausnahme der Fig. 5 nur schematisch dargestellt.

zwei Venen hervor: Vv. umbilicales, welche in den Rändern der Bauchwände nach vorne verlaufen und mit den Venae omphalo-mesentericae gemeinschaftlich in einen Behälter einmünden, der mit dem venösen Theil des Herzens in Verbindung steht (KÖLLIKER). Indem die Allantois sich an die innere Chorionwand anlegt und ihre Gefässe in die Zotten der Anlagestelle hineinwuchern und von da in das Gewebe der Uterinschleimhaut der Mutter gelangen, entsteht die Placenta, welche von da an als Athmungs- und Ernährungsorgan des Embryo fungirt (cf. Athmungsorgane). Das Blut der Nabelvene ist nach der Ausbildung der Placenta heller als das der Nabelarterie, es besteht hier ein ganz analoges Verhalten wie zwischen dem Blut der Lungenarterie und Lungenvene. Auf der Nabelblase entwickeln sich die zierlichen Gefässe des ersten embryonalen Kreislaufs (Area vasculosa cf. Blutbewegung II). Sobald der Embryo durch die Gefässe der Allantois mit dem mütterlichen Blut communicirt (Placenta), so schrumpft die Nabelblase mit ihren Gefässen und dem Ductus vitello-intestinalis zu einem dünnen Strang zusammen, da sie jetzt ihre Bedeutung für das Embryonalleben verloren hat. Die Allantois enthält die Sekrete der Urnieren (cf. Harn).

Der Nabel besteht aus zwei concentrischen Röhren. Die innere ist der Darmnabel (Ductus omphalo-entericus), er verbindet die Darmwand mit der Nabelblase; die äussere ist der Hautnabel und verbindet die Bauchwand des Embryo mit dem Amnion. Zwischen beiden bleibt eine ringförmige Spalte, welche mit der Pleuroperitonealhöhle communicirt, und aus welcher der Urachus zur Allantoisblase hervorkommt. Durch den Abschnürungsprocess wird zunächst ein allseitig geschlossenes Darmrohr gebildet, welches mit der Visceralhöhle am oberen Ende und in der hinteren Medianlinie verwachsen ist. Der Durchbruch der vorderen und hinteren Darmöffnung wird im speciellen Theile noch näher abgehandelt werden.

Zweites Capitel.

Die Chemie der Zelle.

Elementare Zusammensetzung der organischen Stoffe.

In der Geschichte der Bildung der Organismen finden wir Formgesetze, welche von den in der anorganischen Natur sich bethätigenden wesentlich verschieden scheinen. Die ausgebildete Zellform charakterisirt sich durch ihre Constitution aus heterogenen Theilen. Es gehört zum Begriff des Organismus, also auch der Zelle, dass in ihm verschiedenartige Bestandtheile durch das Band der Lebensthätigkeiten zu einem grösseren Ganzen vereinigt werden. Anders ist es bei den Formen der anorganischen Stoffe. Der Krystall lässt sich zertrennen in immer kleinere und kleinste Stücke, von denen jedes die wesentlichen Eigenschaften des Mutterkrystalles, dessen Grundform und Structur besitzt. Während die organische Formeinheit der Zelle erst an einer grösseren Anzahl zu einem Ganzen vereinigter Stoffmoleküle in Erscheinung treten kann, ist die anorganische Formeinheit des Krystalles die Eigenschaft jedes einzelnen kleinsten Stofftheilchens.

Entsprechend dieser Verschiedenheit in den Gestaltungsgesetzen scheint der Gedanke nahe zu liegen, dass auch die Stoffe, welchen durch das Leben die organische Form eingeprägt werden kann, wesentlich verschieden sein müssten von den Stoffen der anorganischen Natur. Die Chemie lehrt gegen dieses scheinbare Vernunftspostulat, dass die chemischen Elementarstoffe der Organismen nicht nur auch sonst auf der Erde in anorganischen Verbindungen vorkommen, sondern dass gerade die allerverbreitetsten die chemische Grundlage der belebten Wesen darstellen. Andererseits beweist uns auch die (optische) physikalische Diagnose der organischen Bildungen, dass ihre Moleküle, aus denen sie sich aufbauen, wie die der organischen Stoffe, krystallische Form besitzen (cf. unten Molekularstructur organischer Gewebe).

In der Zelle haben wir die einfache schematische Form erkannt, auf welche sich alle Gestaltungsunterschiede der organischen Natur zurückführen lassen. Dieser Einfachheit der Gestalt der Organismen steht als nicht minder überraschende Thatsache die Einfachheit ihrer elementaren chemischen Zusammensetzung gegenüber.

Wie wir die Entdeckung des zusammengesetzten Mikroskopes als die Grundlage der Fortschrittsmöglichkeit in der Erkenntniss der Formgesetze der Organismen erkannt haben, so begegnen wir in den folgenden Betrachtungen über

den Chemismus der Zelle einem nicht weniger souveränen Hülfsmittel der Untersuchung, auf welchem die grösste Zahl der mitzutheilenden Entdeckungen beruht: der chemischen Elementaranalyse der organischen Stoffe. Sie hat ihre Ausbildung vor allem durch JUSTUS VON LIEBIG erfahren. Die Methode besteht vorzugsweise in einer kunstgerechten Verbrennung der organischen Stoffe, welche es erlaubt, die entstandenen Verbrennungsprodukte zu sammeln, zu wiegen und einer näheren chemischen Untersuchung zu unterwerfen.

Mit Hülfe dieser Methode hat die Wissenschaft gefunden, dass die eigentlich organisch-chemischen Stoffe nur aus einer äusserst geringen Anzahl einfacher Elementarstoffe zusammengesetzt sind. Nur 7 von den über 60 Elementen der Chemie, aus denen die Oberfläche unseres Planeten besteht, betheiligen sich zunächst an der chemischen Bildung der organischen Stoffe. Es sind diese: Sauerstoff O, Stickstoff N, Wasserstoff H, Kohlenstoff C, Schwefel S, Phosphor Ph, Eisen Fe. Ein kleiner Theil der organischen Stoffe besteht nur aus zwei dieser sieben Elemente, und zwar aus Kohlenstoff, der in keiner organischen Verbindung fehlt, und aus Wasserstoff (die natürlichen Kohlenwasserstoffe), oder aus Kohlenstoff und Sauerstoff (die wasserfreie Oxalsäure).

Weitaus die grösste Anzahl der im Thierkörper vorkommenden organisch-chemischen Verbindungen (die Mehrzahl der organischen Säuren, die Kohlehydrate und Fette) bestehen in ihrer Elementarzusammensetzung aus drei Elementen: Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff.

Das Verhältniss, in welchem sich der Sauerstoff zu dem Wasserstoff in den Verbindungen findet, ist ein verschiedenes. Bei den hierher gehörigen organischen Säuren bleibt, wenn man sich allen Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser verbunden denkt, noch ein Ueberschuss von Sauerstoff. Die Kohlehydrate erhalten ihren Namen von der Eigenschaft, dass in ihrer Zusammensetzung Sauerstoff und Wasserstoff in dem Verhältnisse eingetreten sind, dass sie ausreichen würden, mit einander Wasser zu bilden. Bei den fetten Säuren zeigt sich ein Ueberschuss von Wasserstoff; nur ein Theil des Wasserstoffes fände Material an vorhandenem Sauerstoff vor, um sich mit ihm zu Wasser zu vereinigen.

Eine weitere Reihe organischer Stoffe enthält ausser jenen drei Elementarstoffen noch Stickstoff; sie werden als stickstoffhaltige Verbindungen den bisher genannten als den stickstofffreien gegenübergesetzt. Man rechnet unter diese Gruppe auch die höchst zusammengesetzten chemischen Produkte der Lebensthätigkeit, welche Schwefel (Phosphor, einige auch Eisen) in ihrer Constitution besitzen.

Hierher gehören die stickstoffhaltigen organischen Säuren und Basen oder organischen Alkaloide und indifferenten krystallinischen Körper. Einige derartige krystallinische Stoffe enthalten ebenfalls Schwefel. Bisher kennt man drei in den Organismen vorkommende organische Substanzen, welche Phosphor enthalten: Glycerinphosphorsäure, Lecithin und Nuclein.

Zu den höchst zusammengesetzten organischen Stoffen gehören die Eiweissstoffe. Sie enthalten, neben Kohlenstoff, Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel. Im Thierorganismus kommen auch Verbindungen der Eiweissstoffe mit anderen organischen Stoffen vor, welche bei ihrer Zersetzung Albuminate liefern: hierher gehört vor allem das Hämoglobin, welches Eisen in seiner Zusammensetzung enthält.

In den lebenden Organismen finden sich die organischen Stoffe gequollen und gelöst in einer relativ grossen Menge Wasser, ausserdem gemischt oder in chemischen Verbindungen mit einer procentisch meist geringen Menge von unverbrennlichen Stoffen anorganischer Natur, welche die Eigenschaften derselben für das Leben der Organismen in wesentlicher Weise umgestalten, so dass diese anorganischen Stoffe für das Bestehen des Organismus und für die Lebensvorgänge in demselben von nicht geringerer Bedeutung sind, als die angeführten organischen Verbindungen, aus denen die verbrennlichen Stoffe der pflanzlichen wie thierischen Organe bestehen. Sie betheiligen sich an der Bildung und Rückbildung der Organbestandtheile vor allem wohl dadurch, dass sie bestimmte chemische Zersetzungen und Verbindungen in den organischen Stoffen einleiten und selbst mit ihnen in Verbindung treten.

Wenn ein wasserfreier pflanzlicher oder thierischer Körper verbrennt, sich mit Sauerstoff verbindet, so wird die Hauptmasse desselben, die aus den obengenannten Elementen besteht, in gasförmige Verbrennungsprodukte übergeführt. Ihr Kohlenstoff verbrennt zu Kohlensäure (Kohlendioxyd CO_2), welche, an Metalle der Alkalien gebunden, z. Thl. in der Asche zurückbleibt, der Wasserstoff verbindet sich ebenfalls zum Theil mit Sauerstoff zu Wasser (H_2O), ein anderer Theil geht in gasförmiger Verbindung mit Stickstoff, wenn solcher zu der chemischen Constitution des verbrennenden Körpers gehörte, als Ammoniak (NH_3) in die umgebende Atmosphäre. Phosphor und Schwefel bleiben in ihren entstehenden Sauerstoffverbindungen (dreibasische Phosphorsäure H_3PO_4 und Schwefelsäure H_2SO_4) nach dem Verbrennen verbunden mit den anorganischen Stoffen als Asche zurück. Die nach der Verbrennung zurückbleibenden festen Stoffe werden als Aschenbestandtheil von den organischen Stoffen unterschieden. Ausser den genannten finden sich in der Asche noch folgende Stoffe: Von Nichtmetallen: Chlor Cl, Fluor F, Kiesel (Silicium) Si; von Metallen, und zwar von Alkalien: Kalium K, Natrium Na; von alkalischen Erden: Calcium Ca, Magnesium Mg, und normal als schweres Metall: Eisen Fe, oft mit Mangan Mn, dem steten Begleiter des Eisens in der anorganischen Natur, bei gewissen niederen Thieren (cf. Blut) Kupfer Cu.

Die Metalle der Alkalien und alkalischen Erden sind in der Asche meist an Schwefelsäure und Phosphorsäure, z. Thl. an Kohlensäure gebunden, ein Theil findet sich als Chlorverbindungen. Das Fluor kommt als Fluorcalcium (Calciumfluorid CaF_2), das Silicium als Kieselerde (Siliciumdioxyd SiO_2) in den Aschen vor.

Zu den anorganischen Bestandtheilen der Organismen gehört vor allem das Wasser (H_2O), das die Hauptmasse der organisirten Körper ausmacht. Manche Pflanzenstoffe enthalten davon mehr als 90%; auch die thierischen Organe bestehen theilweise bis zu 75% und mehr aus Wasser, doch ist der Wassergehalt der verschiedenen Organe sehr wechselnd, er schwankt auch aus physiologischen und pathologischen Ursachen.

Chemismus der Pflanzen- und Thierzelle.

Die Hauptmasse der organisirten Körper, der Pflanzen und Thiere, besteht, abgesehen von dem Wasser, aus Kohlenstoffverbindungen, von welchen, wie wir gesehen haben, die einfacheren noch Wasserstoff und Sauerstoff und Stick-

stoff enthalten. Die organischen Stoffe werden in den Pflanzen aus anorganischen Nährstoffen, vor allem aus Kohlensäure, Wasser und Salpetersäure oder Ammoniak Schwefelsäure, Phosphorsäure, gebildet. In welcher Weise aber diese einfachen Verbindungen zu den complicirten Stoffen umgewandelt werden, aus denen sich die Pflanze zusammengesetzt zeigt, darüber wissen wir bisher noch sehr wenig. So viel steht fest, dass die Bildung der organischen Stoffe in der Pflanze denselben Gesetzen folgt, nach denen die chemischen Verbindungen auch ausserhalb der Zelle entstehen. So lange die künstliche Bildung organischer Stoffe den Chemikern noch nicht gelungen war, konnte man glauben, dass in der lebenden Zelle die Stoffbildung ganz anderen Gesetzen unterliegt als in der anorganischen Natur. Im Jahre 1828 hat Wöhler den Beweis geliefert, dass man im thierischen Organismus sich bildende Verbindungen aus den Elementen künstlich zusammensetzen könne. Er machte die Entdeckung, dass Ammoniumcyanat, das sich leicht aus den Elementen erhalten lässt, in wässeriger Lösung eingedampft, sich in Harnstoff verwandelt. Seit dieser Zeit ist eine Anzahl im pflanzlichen und thierischen Organismus entstehender Verbindungen künstlich dargestellt worden, und täglich wächst diese Zahl, so dass wir hoffen können, die Stoffvorgänge in den Zellen immer genauer verstehen zu lernen.

Zwischen den anorganischen Stoffen, aus denen die Pflanze ihre organischen Bestandtheile bildet, und den organischen Stoffen selbst erkennt man sogleich einen wesentlichen Unterschied. Die ersteren sind der Hauptmasse nach Verbrennungsprodukte, d. h. Sauerstoffverbindungen, welche so viel Sauerstoff in sich haben, dass bei den gewöhnlichen Oxydationsbedingungen kein weiterer Zutritt dieses Stoffes in die Verbindung möglich ist, sie sind mehr oder weniger vollkommen oxydirt.

In den organisch-chemischen Verbindungen hingegen fehlt entweder der Sauerstoff gänzlich, oder er ist nur in einer solchen Menge vorhanden, dass noch immer eine mehr oder weniger bedeutende Quantität desselben nothwendig ist, um aus den sie zusammensetzenden chemischen Elementen Verbindungen mit anorganischem Charakter herzustellen. Die organischen Verbindungen können alle noch höher oxydirt werden, sie sind alle verbrennlicher Natur.

Dieser Charakter der Verbrennlichkeit, welcher die organischen Stoffe kennzeichnet, wird den Elementarverbindungen der organischen Welt, indem sie Bestandtheile eines Pflanzenorganismus werden, erst aufgedrückt. In dem Laboratorium der Pflanzenzelle müssen sich also Vorgänge finden, welche die aus der Umgebung aufgenommenen Sauerstoffverbindungen entweder gänzlich von ihrem Sauerstoff befreien oder diesen doch zum Theil aus ihnen abscheiden, Vorgänge, die man im Allgemeinen mit dem Namen der Desoxydation, Reduction bezeichnet. Die Kraft, welche die chemischen Verbindungen des Sauerstoffs, der die stärkste verwandtschaftliche Attraction zu allen Elementen besitzt, zusammenhält, muss durch eine grössere, in den Zellen zur Wirksamkeit kommende Kraft überboten werden, so dass der Sauerstoff bei der Bildung der organischen Stoffe frei werden kann.

Es war eine der grössten Entdeckungen der Physiologie, als man erkannte, dass diese Kraft der Desoxydation in den grünen, chlorophyllhaltigen Pflanzenzellen nur zur Wirksamkeit kommt unter dem Einflusse des

Sonnenlichtes, dass diese Kraft von dem Sonnenlicht geliefert werde. Dieser Entdeckung steht die andere als nicht weniger wichtig zur Seite, dass die Lebenserscheinungen der thierischen Zelle im Allgemeinen nicht mit derartigen Desoxydationsprocessen, sondern im Gegentheil mit Aufnahme von Sauerstoff verbunden sind, d. h. mit Vorgängen verschiedener Art, welche aber fast alle darin übereinstimmen, dass sie schliesslich die organischen Stoffe, welche in dem animalen Organismus enthalten sind, (meist) in ihre letzten anorganischen Oxydationsprodukte umwandeln, aus welchen sie in der Pflanzenzelle sich gebildet haben. Wir bezeichnen diese Vorgänge, ohne sie damit mit den Verbrennungen ausserhalb des Organismus irgendwie auf eine Stufe stellen zu wollen, als organische Oxydationsvorgänge. Analog verhält es sich auch mit den Desoxydations- und Reductionserscheinungen in der Pflanzenzelle, auch sie gehen in einer für das Pflanzenleben charakteristischen Weise vor sich: organische Desoxydation.

Mit diesen Entdeckungen war das Dunkel des Zusammenhanges des Thier- und Pflanzenreiches erhellt. Die chemischen Vorgänge in den Zellen der grünen Pflanzen und in den Thierzellen sind principiell von einander verschieden. Während die Pflanzenzelle anorganische Sauerstoffverbindungen in sich als Nahrungsmittel aufnimmt und sie durch Desoxydation in organische Stoffe verwandelt, verwandelt die thierische Zelle, die ihre Nahrung aus dem Pflanzenreiche bezieht, die meisten von der Pflanze gebildeten organischen Stoffe zurück in einfache, anorganisch zusammengesetzte Sauerstoffverbindungen.

Das organische Leben stellt sich danach chemisch als ein in sich geschlossener Kreislauf des Stoffes dar.

Die Pflanze eignet sich Stoffe aus der sie umgebenden anorganischen Natur an, aus Luft und Boden, und macht sie zu Bestandtheilen ihres Körpers. Die Bestandtheile der Pflanze werden zu Bestandtheilen des Thieres, die Bestandtheile des Thieres wieder zu Bestandtheilen des Bodens und der Luft, aus denen die Pflanze sie für das organische Leben zurück gewinnt. Der Kohlenstoff der Kohlensäure der Luft wird zum Kohlenstoff der Cellulose, des Stärkemehls, des Zuckers, des Fettes, des Klebers und des Albumins, er wird zum Kohlenstoff unseres Fleisches, unseres Blutes, unserer Nervensubstanz und kehrt aus diesen in der Form von Kohlensäure wieder in die Luft zurück, aus der er stammte. Ebenso wie bei dem Kohlenstoffe ist für alle chemischen Elemente des animalen Leibes und der diesen zusammensetzenden Zellen der Ursprung aus der anorganischen Natur nachzuweisen, aus denen sie von der Pflanze aufgenommen und zu organisch-chemischen Verbindungen verarbeitet werden, aus denen der thierische Organismus seine Organe aufzubauen vermag. Der letztere eignet sich die von der Pflanze vereinigten Stoffe an, im Allgemeinen nicht etwa, um sie in noch höhere und complicirtere Produkte zu verwandeln, sondern um sie zu zersetzen und ihnen im Allgemeinen die Eigenschaften der anorganischen Körper wieder zu ertheilen.

Wir verstehen so, wie die chemische Zusammensetzung der thierischen und pflanzlichen Zelle im Wesentlichen eine gleiche sein kann. Wir finden in beiden die höchst zusammengesetzten organischen Stoffe neben anderen, welche sich weniger von den chemischen Verbindungen anorganischer Art unterscheiden. Bei den Pflanzenzellen müssen aber diese letzteren der Mehrzahl nach

als Vorstufen zur Bildung der höchsten Produkte der organisch-chemischen Lebensvorgänge angesehen werden, bei den Thierzellen dagegen als die Zeugen einer regressiven Thätigkeit, als die Zersetzungsprodukte der höher zusammengesetzten Stoffe.

Wir finden somit einen principiellen Unterschied in dem Chemismus der Zellen in den beiden organischen Reichen: aus ihm erklärt sich die wesentliche Verschiedenheit der Lebensäusserungen der Pflanzen- und Thierzelle. Während die eine — die chlorophyllhaltige Pflanzenzelle — von aussen her Kräfte beziehen muss, um die Trennung der festen chemischen Verbindungen, die sie als Nahrung aufnimmt, zu Stande zu bringen, vermag die andere — die Thierzelle — die Stoffzersetzung unter Sauerstoffaufnahme, welche auch in der anorganischen Natur eine Hauptquelle mechanischer Leistungen ist, zur Hervorbringung von Kraftäusserungen ausserhalb ihres Körpers zu verwenden. Die Pflanzenzelle verbraucht bei ihren chemischen Vorgängen Kräfte, die sie in der Form von Licht und Wärme von der Sonne erhält: die Thierzelle producirt durch ihre chemischen Vorgänge Kräfte, die vor allem als Wärme, Electricität und mechanische Bewegung in einzelnen Fällen auch als phosphorescirendes Licht bei leuchtenden animalen Organismen erscheinen.

Die Pflanzenzelle.

Die Unterschiede in den chemischen Vorgängen, welche wir zwischen Pflanzen- und Thierzellen kennen gelernt haben, lassen sich, wie schon angedeutet, nur zwischen den chlorophyllhaltigen Pflanzenzellen, unter dem Einfluss einer genügenden Lichtstärke, und den animalen Zellen erkennen.

Der chemische Vorgang in den Pflanzenzellen ist ein doppelter. Zu ihrer Stoffbildung nehmen sie jene einfach zusammengesetzten Sauerstoffverbindungen in sich auf, aus denen in den chlorophyllhaltigen Zellen unter dem Einfluss des Sonnenlichtes und unter Ausscheidung von Sauerstoff die sauerstoffarmen organischen Pflanzenbestandtheile gebildet werden. Auf diesem Vorgang beruht das Zunehmen der Pflanzen mit chlorophyllhaltigen Organen an Masse, die Assimilation der Pflanzen (Sachs). Diese Fähigkeit der Assimilation geht aber allen nicht-chlorophyllhaltigen Pflanzenorganen oder ganzen Pflanzenindividuen ab, ebenso fehlt auch den chlorophyllhaltigen Pflanzen und Pflanzenorganen bei zu geringer Lichtintensität die Fähigkeit, aus Wasser und Kohlensäure unter Mitwirkung anderer anorganischer Nährstoffe organische Substanzen zu erzeugen.

Das Leben der Pflanzenzelle ist nicht allein auf Vorgänge der organischen Stoffbildung aus anorganischen Stoffen, der Assimilation, beschränkt.

In den chlorophyllhaltigen Zellen selbst oder nach dem Uebertritt in andere Organe erleiden die Assimilationsprodukte mannigfache chemische Umwandlungen, die nicht mit einer Abscheidung von Sauerstoff, sondern mit einer Umlagerung der Moleküle, meist mit einer Aufnahme geringer Sauerstoffmengen und Aushauchung kleiner Kohlensäurevolumina verbunden sind. Diese Reihe chemischer Vorgänge, die unabhängig von der Einwirkung des Lichtes und Chlorophylls vor sich geht, pflegt man von der Assimilation als Pflanzenstoff-

wechsel (Sachs) zu unterscheiden. Durch diesen Stoffwechsel wird im Allgemeinen die Masse der assimilirten Pflanzenbestandtheile vermindert. Die Zunahme der chlorophyllhaltigen Pflanzen an organischen Stoffen beruht also auf einem Uebergewicht der assimilirenden Thätigkeit der chlorophyllhaltigen Organe im Lichte gegenüber der durch den Stoffwechsel bedingten Stoffverminderung. Während die Assimilation nur im Lichte und in den chlorophyllhaltigen Organen stattfindet, geht der Vorgang des Stoffwechsels unablässig in allen Pflanzenorganen vor sich. Alle Pflanzen haben sonach einen beständig fortschreitenden, dem animalen vergleichbaren Athmungsvorgang, der in Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe wie bei den Thieren besteht. Doch ist diese Art der Athmung bei den Pflanzen meist nur eine sehr geringe, sie wird von der im Lichte in den chlorophyllhaltigen Pflanzenorganen stattfindenden vegetativen Pflanzenathmung mit Aufnahme von Kohlensäure und Abgabe von Sauerstoff weit übertroffen, wenigstens in denjenigen Vegetationsperioden, in welchen der Assimilationsvorgang einen lebhaften Verlauf nimmt.

Die Lebensvorgänge in den Pflanzen, welche nicht zu der Assimilation gehören, sind wie die in den Thieren von einer Stoffzersetzung abhängig. Die Bildung von Wärme und Electricität in den Pflanzenorganen, die Bewegungen des Protoplasmas, die Bildung und Vergrösserung der Zellen, besonders deutlich in der Keimung der Samen, findet auf Kosten vorher assimilirter Stoffe statt, welche dabei einer Veränderung im Sinne des (animalen) Stoffwechsels unterliegen.

Das Wachsthum der Pflanzen setzt wie das der Thiere die vorhergehende Assimilation von organischen Stoffen aus den anorganischen Nährbestandtheilen voraus; der Unterschied besteht aber darin, dass die Thiere diesen Assimilationsvorgang nicht selbst einzuleiten vermögen und daher die von der chlorophyllhaltigen Pflanze assimilirten Substanzen zum Aufbau und zur Erneuerung ihrer Organe in sich aufnehmen müssen, während sich die chlorophyllhaltige Pflanze selbst die Stoffe bildet, die sie für ihre mit Kraftaufwand verbundenen Lebensthätigkeiten bedarf. Zu diesem Zwecke werden die in den chlorophyllhaltigen Organen im Lichte gebildeten organischen Pflanzenstoffe allen anderen Pflanzentheilen zugeleitet, sie können aufgespeichert werden, um erst in der Folge ihre Verwendung zu finden, wenn wie im Frühjahr bei sehr vielen Pflanzen oder bei den Samen die Wachsthumsprocesse beginnen, ehe chlorophyllhaltige Organe ihre stoffbildende Thätigkeit entfalten können. Die chlorophyllfreien Pflanzen (Schmarotzer und Humusbewohner) assimiliren ebensowenig wie die animalen Organismen, sie nehmen wie diese schon organisirte Stoffe in sich auf, in ihnen findet, soviel wir wissen, nur ein Stoffwechsel statt mit Einathmung von Sauerstoff und Ausathmung von Kohlensäure. Die assimilirende Thätigkeit der Pflanzen hat also vorzüglich drei Aufgaben zu genügen: sie liefert die Stoffe, auf deren Verbrauch ihre eigenen mit dem Verlust von Spannkräften verknüpften Lebensthätigkeiten beruhen; sie liefert weiter die Stoffe für den Aufbau und die Kräfteerzeugung der Schmarotzerpflanzen und ist drittens die Quelle aller organischen Bestandtheile der animalen Organismen.

Die Assimilationsvorgänge in der Pflanzenzelle sind an das Vorhandensein des Protoplasmas geknüpft, das in seiner Modification als grünes Chloro-

phyllkorn die Fähigkeit zur Verwendung des Lichtes zum Zwecke der Einleitung von organischen Desoxydationen erhält. In den Chlorophyllkörnern selbst lagern sich die unter ihrer Einwirkung sich bildenden organischen Stoffe (z. B. Stärkekörnchen) ab. Das Protoplasma ist die lebende Substanz in der Pflanzen- und Thierzelle. Das Wesentliche am Protoplasma beider Reiche scheinen — wenn man vom todten Protoplasma, welches der chemischen Untersuchung unterworfen werden kann, auf das lebende zurückschliessen darf, cf. unten — in Wasser gequollene Eiweisskörper: Globuline (vorwiegend Vitellin und Myosin, Hoppe-Seyler) in Verbindung mit gewissen anorganischen Stoffen (phosphorsaurem Kali, phosphorsaurem Kalk etc.) zu sein. Ausserdem findet man im Protoplasma sehr regelmässig: Lecithin, Cholesterin, Kohlehydrate, sowie gewisse körnige Einschlüsse, z. B. die ebenerwähnten Chlorophyllkörper, niemals fehlen dem lebenden Protoplasma verschiedene Fermente (Hoppe-Seyler).

Die Zelle der Pflanze benutzt zum Aufbau ihrer Wandungen, die aus Zellstoff (Cellulose) bestehen, die Stärke, die Zuckerarten, das Inulin und die Fette; als chemisches Baumaterial für den Zellinhalt mit den Chlorophyllkörpern dienen vor allem die Eiweissstoffe. Für die Frage über die Fettbildung im animalen Organismus ist es wichtig, dass man durch Beobachtung an keimenden Samen etc., die ihre ersten Organe nur aus ihren ersten Reservestoffen ohne Assimilation bilden müssen, mit vollkommener Sicherheit nachweisen kann, dass sich Fette und Kohlehydrate leicht eines in das andere verwandeln können, dass die Pflanze Fette zur Bildung von Stärke, Zucker und Cellulose ebenso benutzt, wie sie aus diesen Fette entstehen lässt zum Beweise, wie innig die Verwandtschaft zwischen Fetten und Kohlehydraten sein muss.

Dem Stoffwechsel der Pflanzen entstammen ausser den letzten Produkten der Zersetzung der organischen Stoffe: Kohlensäure, Wasser (aus Kohlehydraten und Fetten kommend), Ammoniak und Schwefelsäure (welche neben Kohlensäure und Wasser die Zersetzung von Albuminaten liefert), auch Degradationsprodukte und Nebenprodukte des Stoffwechsels. Zu den ersteren gehört der Bassorin und der Pflanzenschleim, in welchen sich die Zellwände bei den Quitten- und Leinsamen verwandeln. Auch körnige Degradationsprodukte des Protoplasmas kommen vor, z. B. an Stelle der grünen Chlorophyllkörner anders gefärbte oder, wie in den absterbenden Blättern, nur kleinste gelbe Körnchen. Als Nebenprodukte, welche für das Zellenleben keine erkannte Bedeutung haben, können wir eine lange Reihe von Farbstoffen, Alkaloiden, Gerbstoffen, Pectinstoffen, auch das Wachs etc. bezeichnen.

Der Unterschied zwischen der chlorophyllhaltigen Pflanzenzelle und der Thierzelle ist also auch in dieser Beziehung kein absolut durchgreifender. Er bezieht sich allein auf die Fähigkeit der Bildung organischer Stoffe aus anorganischen Nährmitteln, welche die chlorophyllhaltige Pflanzenzelle im Lichte besitzt, die sie aber bei Mangel des Lichtes und der Chlorophyllkörper meist ebenso entbehrt wie die Thierzelle.

Da der thierische Organismus von den in der Pflanze assimilirten Stoffen seine Organe aufbaut und erneuert, so wollen wir noch einen Blick auf die Hauptnährstoffe organischer Zusammensetzung werfen, welche die Pflanze dem Thiere liefert.

Für die Oekonomie der thierischen Zelle sind nicht alle in der Pflanze gebildeten Stoffe gleichwerthig. Im Allgemeinen ist es verhältnissmässig nur eine kleine Anzahl von chemischen Verbindungen, welche die thierische Zelle zu ihrem Aufbau der Pflanzenwelt entlehnt.

Sehen wir zunächst von den anorganischen Stoffen ab, so sind vor allem wichtig für das Thierreich die höchstzusammengesetzten Produkte des pflanzlichen Zellenchemismus: die Albuminate oder Eiweissstoffe, deren rationelle chemische Formel noch nicht erkannt ist. Die Pflanze erzeugt mehrere Modificationen von Eiweiss, welche mit den im Thierorganis-

mus gefundenen im Allgemeinen übereinstimmen. In den wachsenden und keimungsfähigen Pflanzen sind es nach Hoppe-Seyler vorwiegend Globuline, und zwar Myosin und Vitellin, vielleicht im lebenden Protoplasma in Verbindung mit Lecithin und gewissen anorganischen Stoffen. In Eidottern und Samen von Pflanzen finden sich eiweissartige Substanzen krystallisirt, man nennt sie bei den Pflanzen Aleuronkrystalle, in den Eiern Dotterblättchen, sie werden neuerdings chemisch zu Vitellin gestellt. Die älteren Angaben über Pflanzeneiweissstoffe bezogen sich z. Thl. auf mehr oder weniger »unreine« Substanzen, doch ist es immerhin wichtig, die betreffenden Stoffe zu kennen, so lange wir noch nicht bestimmt wissen, ob diese »Verunreinigungen« nicht vielleicht mit der Constitution der lebenden Protoplasmabestandtheile in naher Beziehung stehen.

In allen Pflanzensäften fand man das Pflanzenalbumin, welches mit dem thierischen Serumeiweisse identisch erschien. In den Körnern der Getreidefrüchte findet sich in ziemlicher Menge der Kleber, den man in zwei verschiedene Substanzen zerlegte: Pflanzenleim und Pflanzenfibrin; in den Samen der Hülsenfrüchte, der Bohnen, Erbsen, Linsen das Pflanzencaseïn oder das Legumin.

Neben den Albuminaten stehen als ebenfalls sehr bedeutungsvoll für den thierischen Haushalt die Kohlehydrate, von denen ein Theil in Wasser löslich, ein anderer unlöslich im Pflanzenreiche als Material für die Bildung der äusseren Zellmembranen (Cellulose), oder zur Bildung fester, organisirter Körnchen im Zellinhalte (Stärke) sich benutzt findet. Alle zeigen eine grosse Uebereinstimmung in der chemischen Zusammensetzung, wodurch die Leichtigkeit des Ueberganges des einen Kohlehydrates in das andere verständlich wird. Wir unterscheiden die betreffenden Körper von einander nicht nur durch ihre chemischen Eigenschaften, sondern vorzüglich durch ihr Verhalten gegenüber Gährungserregern und gegen das polarisirte Licht, sie drehen die Ebene des polarisirten Lichtes entweder rechts oder links, wonach man sie als rechtsdrehend (+) oder linksdrehend (—) bezeichnet:

$C_6 C_{10} O_5$	+ Stärkemehl	$C_6 H_{12} O_6$	+ Traubenzucker	$C_{12} H_{22} O_{11}$	
	+ Glycogen		oder Dextrose		+ Rohzucker
	+ Dextrin		— Fruchtzucker		oder Sacharose
	— Inulin		oder Levulose		+ Milchzucker
	Gummiarten		(+ Galactose)		oder Lactose.
	Cellulose (=Tunicin)		0 Inosit		

Auch die verschiedenen reichlich in den frischen Pflanzen sich findenden organischen Säuren müssen, trotz ihres z. Thl. hohen Sauerstoffgehaltes, als wenn auch geringwerthige Nahrungsstoffe der Thierzelle betrachtet werden, z. B. Essigsäure $C_2 H_4 O_2$, Apfelsäure $C_4 H_6 O_5$, Weinsäure $C_4 H_6 O_6$, Citronsäure $C_6 H_8 O_7$.

Dagegen gehen die Oele und Fette im Ernährungswerthe auch den Kohlehydraten vor; sie zeigen einen viel geringeren Gehalt an Sauerstoff als letztere. In dem Pflanzenreiche sind sie sehr verbreitet; es gibt wohl keine Pflanze und kein Pflanzengewebe, in denen nicht wenigstens Spuren von Fett oder Oel vorkämen, namentlich in Pflanzensamen sind sie reichlich angehäuft. Meist sind sie Gemische aus Glycerinäthern der Palmitin-, Stearin- und Oelsäure. Beim Kochen mit Kali- oder Natronlauge entstehen aus den Fetten ein Alkohol: Glycerin $C_3 H_5 (OH)_3$ und fettsaure Salze der Alkalimetalle (Seifen), indem das Fett unter Wasseraufnahme in die Fettsäure und Glycerin zerfällt. Das Stearin, ein festes Fett, ist Glyceryltristearat oder Tristearin, d. h. Glycerin, in welchem durch das Radical der Stearinsäure ($C_{18} H_{35} O$) die 3 Atome Wasserstoff des Hydroxyls (OH) ersetzt sind: $C_3 H_5 (O.C_{18} H_{35} O)_3$.

Die fetten Säuren, von denen viele in Thier- und Pflanzenzellen fertig gebildet vorkommen, zeigen die allgemeine Formel: $C_n H_{2n} O_2$. Neben jenen Säuren dieser Reihe, welche aus den Fetten abgeschieden werden können: eigentliche Fettsäuren, finden sich solche welche sich durch einen höheren Sauerstoffgehalt auszeichnen und vielfach als Vorstufen für die Bildung der eigentlichen Fettsäuren aufgefasst wurden; wir können sie mit den eigentlichen Fettsäuren nach einer geschlossenen Stufenfolge ordnen, bei welcher der Sauerstoffgehalt im

Verhältniss zu den beiden übrigen Elementen C und H immer mehr abnimmt; für unsere Betrachtungen sind am wichtigsten:

I. Flüchtige Fettsäuren	Ameisensäure . .	$C\ H_2\ O_2$
	Essigsäure . . .	$C_2\ H_4\ O_2$
	Buttersäure . . .	$C_4\ H_8\ O_2$
	Capronsäure . .	$C_6\ H_{12}\ O_2$
	Caprylsäure . . .	$C_8\ H_{16}\ O_2$
	Caprinsäure . . .	$C_{10}\ H_{20}\ O_2$
II. Eigentliche Fettsäuren	Palmitinsäure . .	$C_{16}\ H_{32}\ O_2$
	Stearinsäure . .	$C_{18}\ H_{36}\ O_2$

Meist kommt in den Fetten mit den eigentlichen Fettsäuren auch die Oelsäure (Oleinsäure) $C_{18}\ H_{34}\ O_2$ gemischt vor, welche einer sehr nahe verwandten Gruppe organischer Säuren angehört.

Man unterscheidet je nach der Consistenz Fette und Oele. Unter den pflanzlichen Fetten stehen obenan die sehr feste Cacaobutter, ein Gemisch der Glycerinäther der Stearin- und Palmitinsäure; das butterartige Palmöl, bestehend aus den Glycerinäthern der Palmitin- und Oelsäure, und die weiche Cocosnussbutter, in welcher der Glycerinäther der Coccinsäure mit dem der Oelsäure verbunden ist. Von den pflanzlichen Oelen wird das Olivenöl (mit Oelsäure und Palmitinsäure) vielfach als Nahrungsmittel benutzt. In dem Mandel- und Rapsöl findet sich nur Oelsäure.

Die grosse Reihe weiterer chemischer Stoffe, welche in der Pflanze erzeugt werden, können zwar unter Umständen auch zu den Zwecken des thierischen Organismus verwendet werden, sie treten jedoch theilweise ihres hohen Sauerstoffgehaltes wegen in ihrer Bedeutung für das Bestehen der thierischen Zelle so sehr in den Hintergrund, dass wir sie hier füglich übergehen können. Die stickstoffhaltigen pflanzlichen Basen z. B. Cofein, welche sehr lebhafte Einwirkungen auf das Nervensystem der animalen Organismen ausüben, werden in der Folge theils als physiologische Nervenreizmittel, theils als Arzneimittel und Gifte für uns wichtig werden (cf. spec. Physiologie).

Werfen wir dagegen, ehe wir diesen Gegenstand verlassen, noch einmal einen schliesslichen Blick auf die Art der Entstehung der pflanzlichen organischen Stoffe.

Man nimmt zunächst noch ohne genügende Experimentalbeweise an, dass der höchst zusammengesetzte chemische Pflanzenstoff: das Albumin als höchstes und letztes Produkt der chemischen Thätigkeit der Pflanzenzelle gebildet wird. Wir finden dasselbe in vorzüglicher Menge in den Pflanzensamen stets neben einer reichlichen Menge von Stärkemehl. Die noch unentwickelte Pflanze findet in diesen beiden Stoffen das Material zur Bildung ihrer Organe, die alle Eiweissstoffe und Kohlehydrate enthalten, in hinreichender Menge schon fertig gebildet vor. Die Pflanze erbaut sich aus diesen beiden Stoffen, indem sie Zelle auf Zelle entstehen lässt. Endlich hat sie die Ausbildung erreicht, die sie bedarf, um selbständig an die Herstellung neuer organischer Stoffe aus den Elementen gehen zu können. Wenn sich die ersten Blättchen und die Wurzel gebildet haben, beginnt die Pflanze ihr selbständiges Leben. Dieses besteht vor allem in einer Aufnahme von Kohlensäure, Wasser und Ammoniak und in einer correspondirenden Abgabe von Sauerstoff an die umgebende Luft zum Beweise, dass nun jene Processe der organischen Reduction im Innern der Pflanzenzellen stattfinden, auf denen in Verbindung mit den Vorgängen der Synthese und Substitution die Bildung der organischen Stoffe beruht. Die Frage scheint noch nicht entschieden, ob die Eiweissstoffe des Protoplasmas der in der Keimung neugebildeten Zellen hierbei nicht zum Theil neu entstehen. Die niederen Pilze wenigstens vermögen Eiweissstoffe in Lösungen, welche z. B. weinsaures Ammoniak, Zucker und die anorganischen Nährsalze enthalten, ohne Chlorophyll zu bilden (Pasteur u. A.).

Da die Pflanzenstoffe alle C enthalten, den ihnen die eingeathmete Kohlensäure mit dem

Wasser liefert, so können sie als mehr oder weniger veränderte Kohlensäureatome angesehen werden. Man kann z. B. den Zucker in seiner einfachsten empirischen Formel als Kohlensäure auffassen, in welcher 1 Aeq. Sauerstoff vertreten ist durch 2 Aeq. Wasserstoff aus H_2O (LIEBIG):

Kohlensäure: C^{O}_{O} Traubenzucker: $C^{H_2}_{O}$

$$\text{oder } 6\,(CO_2\,H_2O) = 6\,(CH_2O) + 6\,O_2 = C_6H_{12}O_6 + 6\,O_2.$$

Die Kohlensäure wird also bei der Bildung der organischen Stoffe nicht zerlegt, sondern es werden nur ihre Bestandtheile ausgetauscht. Die organischen Säuren in den Pflanzen, die Oxalsäure, Apfelsäure, Citronensäure etc., pflegte man bisher meist als Zwischenglieder anzusehen zwischen der Kohlensaure, dem Zucker, Stärkemehl und der Cellulose, welche den allmäligen Uebergang der Kohlensäure in einen Pflanzentheil vermitteln. LIEBIG hat gezeigt, dass rückwärts aus Zucker Weinsäure durch Sauerstoffaufnahme gebildet werden kann. Weinsäure und Apfelsäure, die in einander übergeführt werden können, kommen z. B. in reifenden Trauben vor der Zuckerbildung in reichlicher Menge vor. Die Untersuchungen BOUSSINGAULT's haben ergeben, dass unter der Einwirkung des Lichts auf die chlorophyllhaltige Zelle für 1 Volum in die letztere aufgenommene Kohlensäure (genau?) 1 Volum, d. h. das gleiche Volum, Sauerstoff abgegeben werde. Daraus ist, wie es zunächst scheint, zu schliessen, dass, wie wir oben annahmen, der aus dem Reductionsprocess der CO_2 und des H_2O in der Pflanzenzelle primär gebildete organische Stoff aus jedem Molekül $CO_2\,H_2O$ ein Atom C enthält, was auf die mehr oder weniger direkte Entstehung von Kohlehydraten aus CO_2 und H_2O hindeuten würde. Entstünden in der Zelle zunächst organische Säuren von höherem Sauerstoffgehalt, wie z. B. Apfelsäure, Weinsäure etc., so müsste, wie HOPPE-SEYLER meint, weniger, entstunden zunächst Fette, so müsste dem Volum nach mehr Sauerstoff abgeschieden als CO_2 aufgenommen werden. Diese Meinung nimmt aber nicht genügend Rücksicht auf die zahlreichen gleichzeitig in der Pflanzenzelle vorgehenden chemischen Processe, welche im + und — Sinne sich an der Gesammt-Sauerstoffproduction betheiligen. Die letztere, wie sie BOUSSINGAULT quantitativ bestimmte, ist ein höchst zusammengesetztes s. v. v. Compromiss-Resultat, hervorgehend aus den Processen des O-verbrauchenden Pflanzenstoffwechsels und der O-liefernden Pflanzenassimilation (cf. oben). Dabei schreitet in der Pflanzenzelle die Bildung von organischen Säuren, welche weniger O liefert, und die Bildung von Fetten etc., welche mehr O liefert, neben der Bildung von Kohlehydraten, welche das der aufgenommenen CO_2 gleiche Volum O liefert, einher, und zwar, wie wir wissen, in verschiedenen quantitativen Verhältnissen je nach der Lebensperiode und den allgemeinen Lebensbedingungen des vegetabilen Organismus. Die Gleichheit der Volumina der eingenommenen CO_2 und des abgegebenen O ist also nur eine zufällige und unter physiologischen Bedingungen schwankende. Eine nähere Analyse des Vorgangs der Zuckerbildung gibt A. BAEYER (cf. S. 69). — Für die Erzeugung der Albuminate in den Pflanzen finden wir in den Nährpflanzen, die am reichsten daran sind, kaum eine stickstoffhaltige Substanz, ausser Ammoniak, an die wir ihre Bildung knüpfen könnten. Sie entstehen vielleicht durch die Vereinigung von Ammoniak mit Zucker und unter Austreten von Wasser und Sauerstoff, indem noch in irgend einer Weise sich Schwefel mit diesem Atomcomplex vereinigt (LIEBIG). W. PFEFFER setzt an Stelle des Ammoniaks das Asparagin, eine Amidoverbindung der Apfelsäure:

$$\left.\begin{matrix} C_4H_4O_3 \\ H_2 \\ H_2 \end{matrix}\right\} N_2 + H_2O,$$

zunächst für die Eiweissbildung in keimenden Pflanzen, z. B. den Papilionaceen. Die eingelagerten Reserveeiweissstoffe sollen Asparagin bilden konnen, das dann wieder rückwärts zur Eiweissbildung Verwendung fände. HLASIWETZ und HABERMANN suchen die Anwesenheit eines Kohlehydrates in der Zusammensetzung der Eiweissstoffe durch Vergleichung der analogen Zersetzuungsprodukte der Eiweissstoffe und Kohlehydrate zu sichern.

Die Thierzelle.

Wir sehen das Leben der Pflanze an einen innigen Wechselverkehr mit Atmosphäre und Boden geknüpft; ebenso kann das thierische Leben nicht ohne eine beständige Verbindung mit diesen Agentien bestehen. Der Verkehr der Pflanze und des Thieres mit Luft und Erde erscheinen aber zunächst im innersten Wesen verschieden.

Während die grünen Pflanzenorgane Luftbestandtheile — CO_2, H_2O, NH_3 — in sich aufnehmen, um organische, hochzusammengesetzte Stoffe daraus zu bilden, bedarf das Thier der Luft, um die complexen organisch-chemischen Bestandtheile seines Leibes mit Hülfe des Sauerstoffes zu einfacheren Gebilden zu zersetzen. Während die Pflanzen der Luft Kohlensäure entziehen und ihr dafür Sauerstoff zurückgeben, nehmen dagegen die Thiere Sauerstoff aus der Atmosphäre in sich ein, um ihn vorzüglich als Kohlensäure und Wasser wieder auszuscheiden. Der Kohlenstoff dieser Kohlensäure, der Wasserstoff dieses Wassers stammt von den umgesetzten Geweben, deren aus den Pflanzen in der Nahrung aufgenommene Stoffe sich zersetzen unter Mitwirkung des in der Athmung eintretenden Sauerstoffs. In der Pflanze sind die chemischen Verbindungen, welche den Thierkörper zusammensetzen, aus Kohlensäure entstanden, sie sind mehr oder weniger veränderte Kohlensäureatome, in denen Sauerstoff durch andere Elementarstoffe oder deren Verbindungen ausgetauscht wurde. In dem animalen Körper verwandeln sie sich unter Wiederaufnahme von Sauerstoff wieder rückwärts in Kohlensäureatome, in das, was sie ursprünglich waren. Es entstehen endlich wieder die einfachen Nährstoffe der Pflanzenzelle, oder wenigstens Stoffe, welche nach der Trennung vom thierischen Organismus sehr leicht und rasch in jene sich umbilden. Für die grüne Pflanze ist die Luft Hauptnahrungsmittel; für das Thier ist sie Vermittlerin seines Stoffumsatzes, auf welchem alle seine aktiven Lebensthätigkeiten, seine Wärme- und Electricitäts-Produktion, die Möglichkeit seiner mechanischen Kraftleistungen beruht.

Die Haupt-Lebenserscheinungen der chlorophyllhaltigen Pflanzenzelle (Assimilation) sind geknüpft an einen Austritt von Sauerstoff; die Haupt-Lebenserscheinungen der Thierzelle (äussere mechanische Leistungen) an eine Aufnahme von Sauerstoff.

Bei der grünen Pflanzenzelle führen die Momente, welche der Grund des Sauerstoffaustrittes sind, zu einer Massenzunahme; die Sauerstoffaufnahme der thierischen Zelle verbindet sich mit einer Zersetzung ihrer Stoffe und führt damit im Wesentlichen zu einer Abnahme an organischen Bestandtheilen.

Von einem erwachsenen menschlichen Organismus, von einem Mittelgewicht von etwa 65 kg, werden im Tage 700 bis 1000 Gramm Sauerstoff aufgenommen, die an Körperbestandtheile gebunden den Organismus wieder verlassen. Bedenken wir, dass der menschliche Körper sich zu etwa zwei Dritttheilen aus Wasser (58,5%) und sonstigen anorganischen Stoffen zusammengesetzt zeigt, welche unter den Lebensbedingungen des Organismus eine höhere Oxydation nicht mehr zulassen, so ist es klar, dass der eigentlich organische oxydirbare Theil des Körpers in kürzester Zeit vollständig in Luft aufgelöst wäre, wenn nicht für den beständigen Verlust, den er erleidet, ihm ebenso beständig Ersatz von aussen geboten würde. Wir sehen, dass der thierische Organismus darauf

angewiesen ist, fort und fort Nahrung, aus organischen Stoffen bestehend, sich zuzuführen, durch welche der erlittene Verlust ausgeglichen wird. Dieses Ausgleichen ist unter normalen Verhältnissen so vollständig, dass nach Ablauf eines Jahres der erwachsene Körper kaum eine Gewichtsveränderung erlitten hat.

Obwohl das Thier seinen Körperkohlenstoff in Kohlensäure verwandelt und diese beständig an Stelle des verzehrten Sauerstoffes der Atmosphäre übergibt, nimmt trotzdem der Kohlensäuregehalt der Luft, der auch durch Verbrennung und Verwesung von Pflanzenstoffen, durch vulkanische Ursachen sowie durch die Thätigkeit der chlorophyllfreien Pflanzen und Pflanzenorgane dasselbe Gas fortwährend zuströmt, im Allgemeinen nicht zu, ihr Sauerstoffgehalt nicht ab. Ohne die Pflanzenvegetation wäre dies Gleichbleiben der Zusammensetzung der atmosphärischen Luft unmöglich. Durch die Thätigkeit der grünen Pflanzen im Lichte wird der Luft wieder die zugeführte Kohlensäure entzogen und dafür Sauerstoff zurückgegeben, so dass, wie gesagt, die Zusammensetzung der Luft, abgesehen von localen Störungen, im Grossen und Ganzen niemals eine erkennbare Veränderung zeigt. Um die 700—1000 Gramm Sauerstoff der Luft zurückzugeben, welche ein Mensch in einem Tage zur Athmung verbraucht, müssen durch Pflanzenvegetatien 17—20 kg. Cellulose oder Pflanzenfaser aus Kohlensäure und Wasser gebildet werden.

Alle organischen Stoffe, welche das Thier in sich aufnimmt, stammen aus dem Pflanzenreiche. Auch das fleischfressende Thier bezieht seine Nahrung mittelbar von der Pflanze. Es erhält von dem pflanzenfressenden Thiere, das ihm zur Nahrung dient, seine Körperbestandtheile bereits fertig gebildet, gleichsam in concentrirter Form. Der Pflanzenfresser hat sich die betreffenden Stoffe aus dem Pflanzenreiche angeeignet, zwar ebenfalls schon in einer Form, um sie direct zum Ersatz seines beständigen Stoffverlustes brauchen zu können, aber noch gemischt mit chemischen Verbindungen, welche für ihn theils geringen, theils gar keinen Nahrungswerth besitzen.

So gestaltet sich also die E r n ä h r u n g d e r T h i e r e in wunderbarer Einfachheit. Das Thier erhält in seiner Nahrung die Hauptbestandtheile seines Körpers bereits fertig gebildet; seine Nahrung enthält die Stoffe bereits so zubereitet, dass sie sich direct in seine Organe verwandeln können.

Der animale Organismus ist im Stande, alle seine Bedürfnisse an organischen Nährstoffen auf Kosten des Eiweisses zu befriedigen. Das Eiweiss, die Albuminate, die höchsten Produkte der assimilirenden Thätigkeit der Pflanzenzelle, enthalten alle anderen Stoffgruppen gleichsam implicite in sich. Aus dem Eiweiss können sich die im Thierkörper vorkommenden Kohlehydrate und Fette bilden, es entstehen aus seiner organischen Zersetzung die stickstoffhaltigen Körperstoffe, welche zum Theil noch verwendbare Spannkräfte für die Krafterzeugung des Thieres enthalten. Alle verbrennlichen Bestandtheile des thierischen Leibes sind bei der alleinigen Ernährung mit Albuminaten als veränderte Eiweissatome zu betrachten, ganz so wie die Bestandtheile der Pflanze veränderte Kohlensäureatome sind.

Bei der gemischten Nahrung der Thiere besteht nur der Unterschied, dass hier neben Albuminaten auch noch die Vorstufen der Bildung desselben in den Pflanzenzellen (Kohlehydrate und Fette etc.) direct aufgenommen werden, die bei Eiweisskost allein aus der Rückbildung der Albuminate entstehen. Wie sie

aber in den Organismus gelangen, ist für ihre Verwendung in demselben gleichgültig.

Das Wasser und die anorganischen Salze, welche sich in den thierischen Organen finden: die phosphorsauren Alkalien und Erden (Kalk und Bittererde), die kohlensauren Erden, Chlorkalium und Chlornatrium, schwefelsaure Alkalien, Eisen und Kieselerde stammen theils auch aus der von den Pflanzen entlehnten Nahrung, in der sie stets vorhanden sind, theils werden sie im Trinkwasser, das sie gelöst enthält, aus dem Boden aufgenommen.

Der Leib der Thiere und des Menschen wird also durch Vermittelung der Pflanzen aus Kohlensäure, Wasser und Ammoniak nebst einigen anorganischen Stoffen der Erdrinde erzeugt; die chemische Grundlage des thierischen Lebens sind die Bestandtheile der Luft und der Erde.

Die Pflanze bildet, wie wir oben sahen, die organischen Stoffe zunächst aus den einfachen Nährstoffen, die ihr Luft und Erde zuführen, durch Austausch der Bestandtheile unter gleichzeitiger Abscheidung von Sauerstoff; in ganz analoger Weise findet unter gleichzeitiger Aufnahme von Sauerstoff in dem Thiere umgekehrt die regressive Stoffmetamorphose statt, welche wieder zu den Anfangsgliedern der Stoffbildung in der Pflanze zurückführt.

Man hat, wie gesagt, diesen Process der Abscheidung des Sauerstoffs durch die Pflanzen mit der Bezeichnung Reduction, den Vorgang der Sauerstoffaufnahme von Seite der Thiere und die damit verknüpfte Stoffzersetzung mit der Bezeichnung Oxydation belegt. Es wäre aber falsch, dabei an eine gewöhnliche Verbrennung zu denken, es ist ein Dissociationsvorgang unter Aufnahme von Sauerstoff (cf. Athmung). Der Vorgang der Verbindung des Sauerstoffs mit den verbrennlichen Elementen des thierischen Körpers ist ganz anderer Art und sehr verschieden von den gewöhnlichen Verbrennungsprocessen, nie wird im lebenden Körper Kohlensäure erzeugt durch directe Verbindung des Kohlenstoffs mit Sauerstoff. Denselben oder wenigstens einen analogen Weg, wie ihn die Stoffbildung in der Pflanzenzelle aufwärts macht, durchläuft im Wesentlichen der Vorgang der Stoffzersetzung im Thiere rückwärts, indem sich in beiden Fällen die Bestandtheile gegen einander austauschen.

A. Baeyer gibt eine näher eingehende Hypothese über die Bildung des Zuckers in der Pflanze aus $CO_2(H_2O)$. Er stützt sich dabei auf die Angabe Bullerow's, dass bei Behandlung des Formylaldehyds mit Alkalien ein zuckerartiger Körper entstehe. Unter der Einwirkung des Sonnenlichtes und Chlorophylls erleide die Kohlensäure dieselbe Dissociation wie durch hohe Temperaturen, es entstehe unter Abspaltung von O Kohlenoxyd, das sich nun durch Verbindung mit zwei Wasserstoff aus dem Wasser in $CO + H_2 = CH_2O$, d. h. Formylaldehyd, verwandele, der sich dann unter der Einwirkung des Zellenchemismus ebenso in Zucker, resp. einen zuckerähnlichen Körper umwandeln könne, wie durch Alkalien. Andere complicirtere Wege der Zuckerbildung sind dabei vielleicht nicht ausgeschlossen. Unter der Einwirkung von Alkalien entstehen aus Traubenzucker und anderen Kohlehydraten nach Hoppe-Seyler Brenzcatechin $C_6H_4 \left\{ \begin{matrix} OH \\ OH \end{matrix} \right.$ Ameisensäure, Aethylidenmilchsäure, Kohlensäure. Ganz analog ist die Zersetzung der Kohlehydrate durch Einwirkung von Wasser im zugeschmolzenen Rohr. Hoppe-Seyler glaubt annehmen zu dürfen, dass so auch im Thierkörper, vielleicht unter Mitwirkung von Fermenten, die Zersetzung dieser Stoffe vor sich gehe; umgekehrt könnte sich in den Pflanzen vielleicht durch Verbindung derselben Stoffe die Bildung des Zuckers erklären. Für diese Annahme erscheint der Nachweis des Vorkommens von Brenzcatechin in vielen Pflanzen von Wichtigkeit.

In neuerer Zeit wird wieder vielfach darauf hingewiesen, dass die chemischen Lebensvorgänge in der Thier- und Pflanzenzelle sich theilweise an die Gährungserscheinungen anreihen, oder dass sie, wie das Liebig constatirte, eine gewisse Aehnlichkeit mit den Pro-

cessen der Fäulniss resp. Verwesung, d. h. Fäulniss bei Anwesenheit von Sauerstoff erkennen lassen. Namentlich hat sich HOPPE-SEYLER in neuerer Zeit mit diesen Vorgängen beschäftigt und theilweise wichtige neue Gesichtspunkte für ihre Auffassung gewonnen. Nach seiner sich vorwiegend an die Anschauungen LIEBIG's anschliessenden Darstellung sind Gährungserreger oder Fermente complicirte organische Stoffe (keine Eiweisskörper), welche, selbst leicht veränderlich und stets mit der Fähigkeit begabt, Wasserstoffhyperoxyd zu zerlegen, im Stande sind, unter Mitwirkung von Wasser in hinreichend verdünnten Lösungen und bei genügender Temperatur (über 0°) andere Stoffe in der Weise zu verwandeln, dass Körper entstehen von zusammen geringerer Verbrennungswärme, als diejenigen Stoffe, aus denen sie gebildet sind. Ihre Wirkung verglich LIEBIG mit der des feinvertheilten Platins auf gewisse anorganische und organische Stoffe und Mischungen. Einen Theil dieser »Fermente« hat man von lebenden Organismen, die sie enthalten, noch nicht zu trennen vermocht, bei der chemischen Zerlegung der letzteren werden sie mit zerstört, ähnlich wie es nicht gelingt, z. B. contractile Substanz aus dem Zellprotoplasma abzuscheiden (HOPPE-SEYLER). Andere Fermente sind in Wasser und anderen Flüssigkeiten, z. B. Glycerin, löslich, lassen sich aber auch in diesen Lösungen nur sehr schwer namentlich von anhaftenden Eiweissstoffen reinigen. Durch höhere Temperaturen werden alle Fermente bei Gegenwart von Wasser schon unter 100°, meist schon unter 60° zerstört, während sie theilweise ein Erhitzen in vollkommen trockenem Zustande, ohne ihre Wirksamkeit zu verlieren, vertragen, z. B. Emulsin und Pepsin. Man unterscheidet jene Fermente, welche man von den sie erzeugenden Organismen noch nicht zu trennen vermocht hat, als geformte Fermente von den zu trennenden als den ungeformten Fermenten. Letztere wirken in den Verdauungssäften des Menschen und der Thiere, kommen aber auch im Pflanzenreiche weit verbreitet vor. Schwach sauere Beschaffenheit der Lösung bedürfen einige Fermente zu ihrer Wirkung (animalisches Pepsin und vegetabilisches Pepsin), für die Wirkung der Diastase ist sie nicht schädlich, die Milchsäuregährung wird durch sie wenig beeinträchtigt, andere Gährungen stört sie vollkommen. Aetzalkalien zerstören alle Fermente, ebenso die Salze schwerer Metalle (Eisen, Zink, Blei, Silber, Quecksilber). Einige Fermente, wie das der Alkoholgährung, werden schon mit dem Tode der Organismen, in welchen sie enthalten sind, zerstört, Behandlung mit Aether, Chloroform macht sie unwirksam.

HOPPE-SEYLER theilt die **Fermentwirkungen** folgendermassen ein:

I. Umwandlung von Anhydriten in Hydrate.

A. *Die Fermente wirken wie verdünnte Mineralsäuren in der Siedetemperatur.*

1. Uebergang von Amylum und Glycogen in Dextrin und Traubenzucker (Diastase, Ptyalin, diastatisches Pankreasferment).

2. Umwandlung von Rohrzucker in Traubenzucker und Fruchtzucker (Ferment der Bierhefe und vieler höherer Pflanzen).

3. Umwandlung von verschiedenen Benzolglycosiden in Zucker und ein oder mehrere einfachere Benzolderivate (durch Emulsin, z. B. Salicin in Zucker und Saligenin).

4. Spaltung von Schwefelverbindungen in Zucker, Schwefelsäure und ein Senföl (durch Myrosin bei der Entstehung der flüchtigen Cruciferenöle).

B. *Die Fermente wirken wie Aetzalkalien in höherer Temperatur. Fermentative Verseifung.*

1. Spaltung der Aether, Fette u. dergl. in Alkohol und Säure (Fettspaltendes Ferment des Pankreas und faulende Stoffe, welche z. B. aus den Körperfetten das Leichenwachs, Adipocire, bestehend aus palmitin- und stearinsaurem Kalk, bilden).

2. Zerlegung von Amidverbindungen unter Wasseraufnahme (Fäulnissfermente, z. B. Umwandlung des Harnstoffs in kohlensaures Ammoniak). Hierher scheinen auch die Zersetzungen der Eiweissstoffe und Albuminoide (Glutin, Chondrin etc.) durch Fäulniss allein oder unter Mitwirkung des Pankreasferments zu gehören.

II. Fermentative Umwandlungen mit Uebergang von Sauerstoff vom Wasserstoff an Kohlenstoffatome.

1. Milchsäuregährung.

2. Alkoholgährung.

3. Fäulnissprocesse durch Micrococcen und Bacterien etc. Sie werden zerstört durch Erhitzen in Wasser über 53°, am raschesten verlaufen ihre Wirkungen bei Temperaturen zwischen 25—40°. Der Schlamm der städtischen Cloaken scheint die schnellste Fäulniss zu geben. Sie zerlegen unter Mithülfe von Wasser Ameisensäure in Kohlensäure und Wasserstoff; Cellulose in Kohlensäure und Sumpfgas; Milchsäure in Buttersäure, Kohlensäure und Wasserstoff; Apfelsäure in Kohlensäure und Milchsäure, welche dann weiter zerlegt wird. Glycerin mit faulendem Fibrin liefert bei Abschluss der Luft Buttersäure, Butteressigsäure, Bernsteinsäure, Kohlensäure, Wasserstoff. Die Eiweissstoffe werden durch Fäulnissfermente rasch zerlegt. Aus unlöslichen Eiweissstoffen, z. B. Fibrin, bildet sich zunächst eine dem Myosin ähnliche, im Wasser sich lösende Globulinsubstanz neben einem anderen Eiweisskörper, dann Pepton, daraus Ammoniak, Kohlensäure, Leucin, Tyrosin, Indol, Buttersäure, kein Wasserstoff.

Verwesung = Fäulniss bei reichlicher Anwesenheit von Sauerstoff.

Bei einer grossen Anzahl dieser Zerlegungen durch Fäulnissfermente wird Wasserstoff frei, welcher bei ungenügender Gegenwart von Sauerstoff sich auf Kosten der übrigen entstehenden Substanzen oxydirt, d. h. Reduction eines Theils der vorhandenen Stoffe bewirkt, wofür die angeführten Zersetzungen Beispiele ergeben. Ist genügend Sauerstoff vorhanden, so finden keine Reductionen statt, sondern der freiwerdende Wasserstoff verbindet sich mit dem Luftsauerstoff zu Wasser unter Wärmeentwickelung und Ozonbildung. In ganz analoger Weise verlaufen nach Hoppe-Seyler u. A. die chemischen Vorgänge im lebenden Protoplasma. (cf. auch unten Fermente.

Bestandtheile des Thierkörpers.

Albuminstoffe.

Im abgestorbenen Protoplasma, wie es der chemischen Analyse unterworfen wird, bilden im Wasser gelöste oder gequollene Eiweissstoffe, Albuminate, die Hauptmasse der charakteristischen Bestandtheile. Ihre ausschlaggebende Bedeutung für das Leben wollte Mulder mit dem Namen Proteinstoffe charakterisiren, d. h. Stoffe, welche den ersten Platz einnehmen (von *πρωτευω*). Wie sich die Albuminate im lebenden Protoplasma verhalten, ist durch die bisherigen Untersuchungen noch keineswegs vollkommen aufgehellt. Nur das steht fest, dass sich die »reinen Eiweissstoffe«, wie sie die physiologische Chemie kennt, durch mehr oder minder eingreifende chemische und physikalische Umwandlungen, welche sie erlitten haben, unterscheiden von den »wahren Proteinsubstanzen«, welche der »lebende Stoff« in der Zelle sind. Doch kennen wir einige hierher zu rechnende Stoffe, welche uns immerhin Fingerzeige geben, wie wir uns vielleicht das Verhalten der »Proteinsubstanzen« im lebenden Protoplasma vorzustellen haben. Der animale Organismus verwandelt bei der Verdauung die ihm in irgend einer Form: gelöst, gequollen oder fest übergebenen verschiedenartigen Albuminate zunächst in ein und denselben durch sein chemisches Verhalten wohlcharakterisirten Eiweissstoff: Albuminpepton. Durch den Vorgang der Eiweissverdauung, d. h. Peptonbildung, in den Eingeweiden werden die verschiedenen Eiweissstoffe befähigt, als Flüssigkeiten in die Säfte- und Organmasse des Körpers einzutreten und hier an den chemischen Vorgängen des Lebens theilzunehmen. Hiebei erlangen sie durch grösstentheils noch unaufgehellte Processe die verschiedenen chemischen und physikalischen Eigenschaften, mit welchen sie uns im Organismus entgegentreten. Der Nachweis der Verdauungsfermente in den Organen lehrte uns aber, dass neben der visceralen Verdauung auch eine Organverdauung besteht, dass

ganz analoge Veränderungen, wie sie die Bewegung der Albuminate bei der Nahrungsaufnahme des Gesammtorganismus vom Pflanzenreich in die animalen Körper vermittelt, auch den Bewegungen der Eiweissstoffe im Organ selbst von Zelle zu Zelle vorstehen. Für die animale Zelle ist daher das **Albuminpepton** der erste und wichtigste Eiweissstoff, weil sich aus ihm alle anderen animalen Albuminate bilden. Adamkiewicz erklärt in diesem Sinn das Pepton für den allgemeinen Bildungsstoff der Gewebe.

Einen zweiten Fingerzeig zur Beurtheilung des Verhaltens der Albuminate im lebenden Protoplasma gibt uns das Hämoglobin, der rothe Blutfarbestoff, auf dessen Anwesenheit und Wirkung im höheren animalen Organismus die wichtigsten Lebensfunktionen, Aufnahme und Abgabe von Sauerstoff, basiren. Das Hämoglobin ist eine chemische Verbindung eines Albuminats mit einem oder mehreren anderen organischen Stoffen, es liefert bei seiner Zersetzung Albuminat (cf. unten Chemie des Blutes). Im lebenden Organismus sind vielleicht die Mehrzahl aller primär aus dem Albuminpepton hervorgegangenen Albuminate chemische Verbindungen theils mit anorganischen Salzen, theils mit organischen Stoffen, unter welchen phosphorhaltige Substanzen, wie Lecithin, eine wichtige Rolle zu spielen scheinen. Das verschiedene chemische Verhalten der durch verschiedenartige Zersetzung des Protoplasmas und der animalen Flüssigkeiten im Laboratorium hergestellten Albuminate bezieht sich, wie es scheint, nicht zum geringen Theil auf »chemische Verunreinigungen« dieser Stoffe (z. Thl. durch Salze etc.), mit anderen Worten darauf, dass hier die Trennung und Zerlegung der Albuminatverbindungen, wie sie im lebenden Organismus bestanden, nur eine mehr oder weniger unvollkommene ist. Al. Schmidt will, was anderen Forschern bisher noch nicht zu bestätigen gelungen ist, Albuminate mittelst Diffusion durch eine gewisse Sorte von Pergamentpapier vollkommen aschefrei erhalten haben, mit abweichenden Eigenschaften von der Mehrzahl der übrigen bekannten Eiweissstoffe. Die physiologische Bedeutung der unten aufgeführten Albuminatmodificationen ist daher theilweise eine in gewissem Sinne beschränkte, bei deren Beurtheilung wir die oben gegebenen Gesichtspunkte nicht aus den Augen verlieren dürfen.

Die Versuche einer Classificirung der verschiedenen Eiweissstoffe sind bisher noch wenig von Erfolg gekrönt gewesen. Des meisten Beifalls hat sich bei den Physiologen die Eintheilung Hoppe-Seyler's zu erfreuen, dessen Synopsis der hauptsächlichsten Albuminstoffe wir im Folgenden etwas verkürzt geben.

1. *Gelöste Albuminstoffe.*

A. In Wasser lösliche Eiweissstoffe.

I. 1. **Pepton, durch Säuren, Alkalien und Erhitzen nicht fällbar.**

II. Albumine, durch sehr verdünnte Säuren, kohlensaure Alkalien und Kochsalz nicht fällbar, fällbar durch Erhitzen:

2. **Serumalbumin.** 3. **Eieralbumin.**

B. In Wasser unlösliche Eiweissstoffe.

a. löslich in verdünnter Chlornatriumlösung:

III. Globuline: beim Erhitzen der Lösung coagulirend, verdünnte Salzsäure löst sie zu Syntonin:

4. Vitellin. 5. Myosin. 6. Serumglobulin.

b. unlöslich in Chlornatriumlösung:

IV. Albuminate, leicht löslich in sehr verdünnter Salzsäure, sowie in kohlensaurem Alkali.

α. durch Kochen und Neutralisiren der Lösung, bei Gegenwart von phosphorsaurem Alkali nicht fällbar:

7. **Caseïn.** 8. **Alkalialbuminat.**

β. durch Neutralisirung der Lösung nicht fällbar:

9. **Syntonin, Acidalbumin.**

2. *Ungelöste Albuminstoffe*,
unlöslich in Wasser:

V. 10. Fibrin, in Salzlösungen (Chlornatrium) wie verdünnten Säuren quellend.
VI. unter den obigen V. Umständen nicht quellend:
11. Coagulirte Albuminstoffe, durch Magensaft verdaulich, durch Jod gelb gefärbt.
12. Amyloid, durch Magensaft nicht verdaulich, durch Jod violett oder braunroth gefärbt.

Wir schliessen hier noch eine etwas nähere Charakteristik der Albuminstoffe, vorzüglich nach Gorup-Besanez, an.

I. Peptone. **Albumin-Pepton.** Eine der wichtigsten Eigenschaften der Organ-Albuminate für den Organismus ist die, dass sie mit Wasser schwer diffundirbare Lösungen bilden, sie sind Colloidsubstanzen (Graham), welchen die Fähigkeit, auch wenn sie, meist mit Hülfe von Salzen, eine Lösung darstellen, durch endosmotischen Verkehr Membranen zu durchdringen nur in geringem Grade zukommt. Sie ertheilen dadurch dem Protoplasma der Zellen die Fähigkeit, sich verhältnissmässig selbständig gegen wässerige Lösungsmittel zu erhalten. Diese geringe Diffusionsfähigkeit beschränkt aber auch die Fähigkeit der Eiweissstoffe zur Ernährung, die z. Thl. endosmotische Durchdringung der zu ernährenden Organe voraussetzt. Durch die Eiweiss-Verdauung wird den gelösten Albuminaten die Fähigkeit zur Diffusion ertheilt und auch in festem Zustand aufgenommene Albuminate in verhältnissmässig leicht diffundirende Lösungen verwandelt (cf. Fermente). Das hiebei entstehende, leicht diffundirende Albuminat hat den Namen Pepton erhalten. Es findet sich vorwiegend im Magen- und Dünndarm-Inhalt während der Verdauung. Es ist getrocknet ein amorpher, weisser, geruchloser Körper, welcher mit geringen, noch nicht sicher constatirten Schwankungen in der Zusammensetzung und den Eigenschaften (Meissner's a-, b- und c-Pepton, Brücke's Alcophyr und Hydrophyr etc.) mit den Albuminaten in der procentischen Zusammensetzung identisch ist (Thiry, R. Maly, Adamkiewicz, R. Herth). Im Organismus entstehen aus den Peptonen die verschiedenen Organ-Albuminate. (R. Maly, P. Plosz, Adamkiewicz.) Maly hält die Peptone für Hydrate der Albuminstoffe. Ihre Lösungen lenken den polarisirten Lichtstrahl stark nach links. Setzen wir den Diffusionswiderstand durch Membranen des gelösten Albumins = 100, so beträgt der des Peptons nur 7—10 (Funke). Eine zweite Haupteigenschaft der Peptone ist die, dass sie die Eigenschaft der Fällbarkeit unter vielen im Organismus gegebenen Bedingungen nicht zeigen. Die Peptone werden nicht gefällt, wodurch sie sich von anderen Albuminaten unterscheiden: durch Kochen, durch verdünnte Mineralsäuren, durch Essigsäure, durch Essigsäure und Neutralsalze, durch schwefelsaures Kupferoxyd, durch Eisenchlorid und Ferrocyankalium. Alkohol erzeugt in concentrirten, neutralen Lösungen flockigen Niederschlag, der in verdünntem Weingeist löslich ist. Gerbsäure, Chlor und Jod, Quecksilberchlorid, Bleiessig, Ammoniak, in saurer Lösung glyco- und taurocholsaures Natron fällen die Peptone wie andere Albuminate. Als charakteristische, den Albuminaten im Allgemeinen angehörige Reaktionen sind noch zu nennen: 1) Mit salpetersaurem Quecksilberoxyd und etwas salpetriger Säure erwärmt, färben sie sich schon bei 60°—100° C. roth (Millon's Reaktion). Diese Reaktion ist identisch mit der auf Tyrosin, das als Zersetzungsprodukt der Albuminate auftritt. 2) Mit Salpetersäure färben sich die Peptone wie die Albuminate gelb (Xanthoproteinreaktion), Alkalien verwandeln diese Färbung in eine rothe. 3) Mit sehr verdünnter Kupfervitriollösung und Kali geben sie eine blau-violette Färbung. — Ein bei der Magenverdauung gebildetes Zwischenprodukt: Parapepton (Meissner) ist wahrscheinlich identisch mit dem Syntonin (cf. dieses). Die Peptone entstehen auch durch Einwirkung von Säuren (v. Wittich), und Aetzalkalien, durch fortgesetztes Kochen oder Kochen bei erhöhtem Druck, auch bei der Fäulniss (Meissner) sollen Peptone oder ihnen ganz analoge Stoffe entstehen, ebenso bei der Einwirkung von Ozon auf Albuminate (von Gorup-Besanez).

Bei der Verdauung wird der Leim in ein »Leimpepton« umgewandelt, das sich von

dem Leim durch den Mangel des Gelatinirungsvermögens unterscheidet und auch langsamer durch verdünnte Säuren entsteht. Wie letztere, zieht der saure Magensaft aus den leim- und chondringebenden Geweben Leim und Chondrin aus, und zwar rascher als die Säure allein. Auch aus Mucin hat man ein leicht diffundirbares Mucinpepton dargestellt durch Kochen, von dem aber noch nicht erwiesen ist, dass es auch bei der Verdauung entsteht, dagegen wurde es im Körper in Ovarialcysten nachgewiesen (v. GORUP-BESANEZ). Cf. Magenverdauung.

Die Albuminstoffe lenken in wässeriger Lösung alle den polarisirten Lichtstrahl nach links ab. Durch trockene Destillation, oxydirende Agentien, Säuren und Alkalien, Fäulniss und Pankreas-Verdauung entstehen aus ihnen eine Menge von Zersetzungsprodukten, darunter Ameisen- und Essigsäure, Benzoesäure, Bittermandelöl und zwei krystallisirte stickstoffhaltige Verbindungen: Leucin und Tyrosin u. a. m. Harnstoff findet sich unter ihren künstlichen Zersetzungsprodukten nicht. Sie geben die MILLON'sche und die Xanthoproteinreaktion, färben sich in kaustischen Alkalien gelöst mit Kupfervitriollösung violett (cf. Peptone), ebenso in einer Auflösung in Eisessig durch Schwefelsäure auch noch in sehr geringen Mengen. Als mikroskopische Reagentien sind brauchbar vor allem 1) Jodlösung, welche schon in der Kälte die festen Eiweissstoffe, Zellen etc. intensiv gelbbraun färbt. 2) Mit Zucker und Schwefelsäure färben sich feste Albuminate purpurviolett; 3) mit molybdänsaurehaltiger Schwefelsäure färben sie sich schön dunkelblau (FROHDE). Ihre Zusammensetzung schwankt nicht unbeträchtlich (HOPPE-SEYLER):

C 52,7—54,5 %
H 6,9— 7,3 „
N 15,4—16,5 „
O 20,9—23,5 „
S 0,8— 2,0 „

II. Albumine. a. **Serumalbumin**, einer der verbreitetsten Stoffe im Thierorganismus, in Blut, Chylus, Lymphe, Colostrum, Milch, in allen serösen Flüssigkeiten, in den Flüssigkeiten des Fleisches und Zellgewebes, den GRAAF'schen Bläschen, Amniosflüssigkeit etc. pathologisch: in Transsudaten, Eiter, Harn. Der Nachweis (vergleiche bei Harn) geschieht durch Kochen in schwachsauren Lösungen oder durch Fällung mit Salpetersäure, wobei sich das Eiweiss in weissen Flocken ausscheidet; durch Kohlensäure und Essigsäure ist es aus verdünntem Blut nicht fällbar. Nach EICHWALD jun. wäre das gelöste Serumalbumin eine Verbindung von Albumin und Kochsalz.

b. **Eieralbumin, Eierweiss**, im Weissen der Vogeleier als concentrirte Lösung eingeschlossen in durchsichtige, häutige Fachräume; beim Schütteln mit Wasser fallen die Membranen als flockige, weisse Masse zu Boden. Es lenkt den polarisirten Lichtstrahl weniger ab als Serumalbumin, dem es sich sonst sehr ähnlich verhält. Unter die Haut oder in Venen von Thieren injicirt, erscheint es im Harn unverändert wieder. In Ovarial-Cysten hat man noch zwei weitere Modificationen des Albumins gefunden: **Paralbumin** und **Metalbumin** meist neben **Mucin**, das diesen Flüssigkeiten eine fadenziehende schleimige Consistenz zu ertheilen scheint.

III. Faserstoff, Fibrin. Aus dem Blut, Chylus, Lymphe, pathologisch aus einigen Transsudaten scheidet sich »spontan« der Faserstoff aus, löslich in Salpeterwasser. Er entsteht nach der älteren Theorie von A. SCHMIDT durch gegenseitige Einwirkung zweier Albuminate: fibrinogene und fibrinoplastische Substanz. Neuerdings spricht A. SCHMIDT u. A. von einem Fibrin-Ferment (cf. Serumglobulin). EICHWALD jun. hält wie ältere Autoren das Fibrin als solches im Blut gelöst und glaubt seine Ausscheidung wesentlich durch Kohlensäure befördert. Der Faserstoff zersetzt Wasserstoffhyperoxyd unter lebhafter Sauerstoffentwickelung.

IV. Albuminate. — **Casein**, Käsestoff, findet sich in der Milch aller Säugethiere. Der Käsestoff ist in der Milch durch Kali gewissermassen gelöst, man hält ihn für **Kalialbuminat**, doch ist es von dem bei höherem Drucke leicht diffundirbaren Alkalialbuminat, durch seine Unfähigkeit zur Filtration durch Thonzellen, verschieden (HOPPE-SEYLER, ZAHN).

KEHRER). Die Eiweissstoffe liefern, wie uns Syntonin und Casein lehren, Verbindungen sowohl mit Säuren als Alkalien, von denen die ersteren Säurealbuminate, Syntonin durch verdünnte Alkalien resp. Neutralisiren), die letzteren Alkalialbuminate, Casein durch verdünnte Säuren gefällt werden können. Die alkalische Milch gerinnt beim Kochen nicht, sie thut das erst, wenn sie spontan oder durch Säurezusatz (Milchsäure, Essigsäure) schwach sauer geworden ist. Bei dem Kochen an der Luft bildet Milch eine Haut von unlöslich gewordenem Casein. Milch mit frischem (oder getrocknetem) Kälberlabmagen bei 40° digerirt scheidet alles Casein aus, wahrscheinlich durch Milchsäurebildung aus Milchzucker (Ferment?).

Syntonin, Säurealbuminat, Acidalbuminat (PANUM), wohl identisch mit dem Parapepton MEISSNER's. Es entsteht aus allen Albuminaten unter Salzsäureeinwirkung. Es ist in verdünnten Alkalien und in 1 pro mille Salzsäure (cf. Magensaft) leicht löslich und fällt aus beiden Lösungen bei dem vorsichtigen Neutralisiren heraus, genau wie das Neutralisationspräcipitat, **Parapepton**, bei der Magenverdauung. Es zersetzt Wasserstoffsuperoxyd nicht. Das Syntonin ist der hauptsächlichste Eiweisskörper in dem Infusum carnis frigide paratum s. LIEBIG (cf. Nahrungsmittel). Es wird durch concentrirtere Kochsalzlösungen gefällt. Je nach der bei der Behandlung mit Aetzbaryt abgegebenen Stickstoffmenge unterscheidet O. NASSE mehrere Arten von Syntonin, A- und B-Syntonin. EICHWALD findet, dass durch Wasser allein Albumin und Albuminate in Syntonin umgewandelt werden können. Syntonin gehört nach HOPPE-SEYLER nicht zu den Globulinen.

V. Globuline. — **Myosin** (KÜHNE) scheidet sich aus dem Muskelplasma bei dem Absterben desselben durch Zusatz sehr verdünnter Säuren als gallertiges Gerinnsel ab. Auch im Eiter, im Axencylinder der Nerven und im Protoplasma der Zellen ist Myosin enthalten. Es zersetzt Wasserstoffsuperoxyd wie Fibrin. Durch seine Ausscheidung beim Absterben der Muskeln und Zellen, wobei durch Fleischmilchsäure der Muskelsaft und Zellsaft sauer wird, wird das Gewebe selbst starr. In schwachen Säuren und Alkalien löst sich das Myosin, auch in verdünnten Kochsalzlösungen; concentrirte (10—20%) fällen es. Aus den Lösungen von Myosin in verdünnten Säuren entsteht

Serumglobulin. (Paraglobulin. Fibrinogene und fibrinoplastische Substanz. Krystallin, Globulin.) Wenig von einander verschieden, ihre procentische Zusammensetzung: C 54,5; H 6,9; N 16,5; S 1,2; O 20.9. Paraglobuline (Globuline) finden sich als wesentliche Bestandtheile des Bluts, in Serum und in den Blutkörperchen, Chylus, Eiter, in serösen Transsudaten meist nur spurweise, dann in der Krystalllinse (Krystallin). Darstellung: Wird Paraglobulinlösung, z. B. Blutserum, stark mit Wasser verdünnt und Kohlensäure eingeleitet, so entsteht Trübung und beim Stehen flockiger Niederschlag, den man mit kohlensäurehaltigem Wasser auf dem Filter auswaschen kann. Es löst sich ziemlich vollständig wieder beim Schütteln mit Wasser und Luft. Das sonstige chemische Verhalten der Globuline ist fast ganz das des Albumins. Charakteristisch ist das Verhalten gegen Flüssigkeiten, welche keine fibrinoplastische, sondern nur fibrogene Substanz enthalten, wie die Mehrzahl der pathologischen Transsudate. Setzt man zu diesen Transsudaten Lösung von fibrinoplastischer Substanz (z. B. Blut), so erfolgt meist sofort Gerinnung, Ausscheidung von Fibrin. Darauf beruht nach A. SCHMIDT (unter Mitwirkung eines Ferments) die Fibringerinnung der Transsudate im lebenden Körper bei Blutzutritt, z. B. nach Punktion. **Fibrinogen,** Metaglobulin, findet sich im Blutplasma im Chylus und in serösen Transsudaten, in seinem Verhalten stimmt es fast ganz mit dem Paraglobulin überein. Es zersetzt Wasserstoffsuperoxyd lebhaft. Setzt man aber zu einer Fibrinogen (und Fibrinferment) enthaltenden Flüssigkeit fibrinoplastische Substanz, so erfolgt eine Gerinnung von Fibrin (cf. Fibrin).

Das Vitellin liefert nach HOPPE-SEYLER's älterer Vermuthung bei seiner Zersetzung Eiweiss und Lecithin, neuerdings hält er das Lecithin für eine »Verunreinigung« des Vitellins. Das Vitellin wird durch gesättigte Chlornatriumlösung nicht gefällt. Es ist Bestandtheil des Eidotters; krystallisirbar. Analoge Stoffe in verschiedenen Eiern werden als Ichthin, Ichthidin und Emydin bezeichnet (cf. Chemie des Eies). Die sogenannten **Aleuronkrystalle,**

die Proteinkörner der Paranüsse bestehen aus einer Verbindung von Vitellin mit Alkalien und alkalischen Erden. O. Schmiedeberg stellte die analoge, schon krystallisirende Magnesiumverbindung dieses Pflanzen-Vitellins dar, welches hierbei die Rolle einer sehr schwachen Säure spielt.

In degenerirten Lebern (Wachsleber) und Milzen (Speckmilz) fand Virchow einen eigenthümlichen Eiweisskörper: Amyloid, der seinen Namen daher hat, dass er einige Aehnlichkeit in den Reaktionen mit Amylum zeigt, er färbt sich mit Jodtinktur roth-violett. Er fand sich ausser in den genannten Drüsen hier und da auch im Gehirn, im Ependyma ventriculorum, Rückenmark, Ganglion Gasseri, dem atrophirten Nervus opticus. Modrzejewski erhielt daraus wie aus allen anderen Eiweisskörpern bei Einwirkung von Schwefelsäure Leucin und Tyrosin.

Albuminsynthese.

Es wurde oben erwähnt, dass man dem animalen Organismus, wie dem der Pflanzen, auch eine Fähigkeit der Assimilation, d. h. der Bildung hoher zusammengesetzter chemischer Stoffe aus einfacheren zuschreibt. Ein Beispiel der Synthese ist die Verbindung der Benzoesäure mit Glycin zu Hippursäure. Das Haemoglobin, der normale Blutfarbstoff, ist ein synthetisches Produkt der animalen Zelle, da es bei seiner Spaltung neben anderen Stoffen Albuminat liefert.

Das Haemoglobin, Haemoglobulin oder Haematoglobulin und **Oxyhaemoglobin**: C 54,00; H 7,25; N 16,25; Fl 0,42; S 0,63; O 21,45. In dem Oxyhaemoglobin aus dem Blute der Gans fand Hoppe-Seyler 0,77 Phosphorsäure. Das Haemoglobin verschiedener Blutarten hält Hoppe-Seyler für chemisch verschieden. Von den Albuminaten unterscheidet sich das Oxyhämoglobin durch seinen Eisengehalt und durch seine Krystallisirbarkeit. Es ist von der grössten Wichtigkeit für die Respiration. Durch Hitze, Alkohol, Alkalien, Säuren, auch die schwächsten, selbst durch Kohlensäure bei Gegenwart von viel Wasser, zerfällt es zu einem in mancher Hinsicht den Globulinen nahestehenden, aber in sauerstoffhaltigem Wasser unlöslichen Albuminat, neben welchem zugleich ein eisenhaltiger Farbstoff, Haematin, entsteht, und in geringer Menge Ameisensäure und Buttersäure. Durch schwefelsäurehaltigen oder kalihaltigen Alkohol zerfällt das Haemoglobin zunächst in einen Eiweissstoff und in einen purpurrothen Farbstoff: Haemochromogen, der bei Anwesenheit von Sauerstoff sofort in Haematin übergeht (Hoppe-Seyler). Die Verbindung des Haemoglobins mit Gasen, seine optischen und näheren chemischen Eigenschaften cf. bei Blut.

Ein Produkt der Albuminsynthese ist auch **das Mucin**, Schleimstoff; es wird beim Kochen mit verdünnten Säuren in Acidalbumin, Traubenzucker und unbekannte andere Stoffe gespalten (Eichwald). Man gab ihm die procentische Zusammensetzung: C 52,2; H 7,0; N 12,6; O 28,2. Es findet sich im Secret der Schleimhäute und im foetalen Bindegewebe (Rollet). Es verleiht den Flüssigkeiten, in denen es auch nur in geringer Menge aufgelöst ist, eine zähe, klebrige, fadenziehende Consistenz. Nachweis: Es wird durch Essigsäure gefällt, es bildet dabei starke flockige Trübung und Ausscheidung, im Ueberschuss des Fällungsmittels unlöslich. Dagegen löst sich der Niederschlag durch Salpetersäure in einem Ueberschuss derselben leicht und vollständig schon in der Kälte. Ebenso verhält sich Mucin gegenüber Salzsäure, Schwefelsäure, dreibasischer Phosphorsäure. Kochen bewirkt weder Coagulation noch Trübung. Mucin ist als solches eine colloide Substanz, d. h. es ist unfähig zur Diffusion. Durch andauerndes Kochen einer alkalischen Lösung von Weinbergschneckenschleim konnte Eichwald sein sogenanntes Schleimpepton darstellen, das mit Essigsäure keinen Niederschlag mehr gibt, aber durch Alkohol gefällt wird und in wässeriger Lösung leicht diffundirt. Ob ein derartiges Schleimpepton auch bei der Verdauung entsteht, wodurch der Schleim resorbirbar würde, ist nicht nachgewiesen.

Produkte der regressiven Metamorphose des Albumins.

I. Albuminoide.

Durch die ersten Vorgänge der rückschreitenden Metamorphose entstehen aus den Albuminaten die sogenannten Albuminoide, die den Eiweisskörpern in ihrer Zusammensetzung noch nahe stehen, einige enthalten keinen Schwefel. Sie sind Colloidsubstanzen, d. h. unkrystallisirbar und (abgesehen von eingreifenden Umänderungen, z. B. in der Verdauung) unfähig wahre Lösungen zu bilden. Durch Zersetzung liefern die folgenden, wie die Albuminate, Tyrosin, meist auch Leucin in reichlicher Menge.

Hornstoff, Keratin. Aus ihm bestehen die Horngewebe: Epidermisschüppchen der Oberhaut, Nägel, Haare, Hörner, Federn. Die Epidermis besteht in 100 Theilen aus: C 50,28; H 6,76; N 17,21; O 25,01; S 0,74. Sehr ähnlich ist die Zusammensetzung der übrigen Horngewebe. Keratin ist nur in heissen Alkalien löslich, es liefert bei seiner Zersetzung Leucin und Tyrosin.

Die leimgebende Substanz, Collagen, wird durch Kochen in Leim, Glutin, verwandelt, der sich in kochendem Wasser schleimig löst, in kaltem aber zu einer Gallerte gesteht. Der leimgebende Stoff findet sich als Zwischenzellenmaterie des meisten Bindegewebes. Der Knochenleim besteht in 100 Theilen aus: C 50,40; H 6,64; N 18,34; S 0,56; O 24,08 (MULDER). Man erhält ihn durch längeres Kochen der Knochen, Sehnen, des lockigen Bindegewebes, Hirschhorns, Kalbsfüsse, Fischschuppen, Leder etc. mit Wasser. SCHERER fand in leukämischem Blute einen Stoff, der sich dem Glutin sehr ähnlich verhielt. Schwefelsäure und kaustische Alkalien zersetzt das Glutin unter Bildung von Leucin, Glycin (Glycocoll = Leimzucker) und Ammoniak. Die wässerige Lösung dreht den polarisirten Lichtstrahl nach links. Alkohol und Gerbsäure schlagen den Leim nieder. Um Leim nachzuweisen, kocht man die zerkleinerte Masse 6—12 Stunden unter Erneuerung des verdampfenden Wassers, die Lösung wird heiss filtrirt und im Wasserbad genügend concentrirt, beim Erkalten gesteht der Rest der Flüssigkeit gallertig, wenn sich Leim gebildet hat, das einzig sichere Erkennungszeichen des Leims. Der Leim hat in wässeriger Lösung nicht die Fähigkeit zu diffundiren. Durch die Verdauung im Magen und Darm wird er jedoch in eine diffundirbare Lösung verwandelt, welcher auch die Fähigkeit zur Gerinnung mangelt: Leimpepton. Aus den leimgebenden und chondringebenden Geweben entsteht im Organismus durch Schwefelverlust das ganz unlösliche, schwefelfreie Elastin, welches bei seiner Zersetzung viel Leucin und wenig Glycin gibt.

Die chondrigene Substanz schliesst sich an die leimgebende an. Die permanenten Knorpel, die Hornhaut, der embryonale Knorpel, die Enchondrome liefern beim Kochen eine leimähnliche Substanz, die wie Glutin in heissem Wasser sich löst, in kaltem gallertig gerinnt: Knorpelleim, Chondrin. Es ist in 100 Theilen zusammengesetzt aus: C 47,74; H 6,76; N 13,87; S 0,60; O 31,04 (v. MEHRING). Nachweis: Von dem Leim, Glutin, unterscheidet sich der Knorpelleim vor allem durch seine Unfällbarkeit durch Gerbsäure, die in seinen Lösungen nur eine schwache Opalescenz hervorruft, dagegen wird letzterer von Essigsäure bleibend niedergeschlagen, was bei Leim, der von keiner Säure ausser Gerbsäure gefällt wird, nicht der Fall ist. Bei der Zersetzung (auch durch Magensaft) liefert er Leucin und anstatt des Leimzuckers (Glycin) eine wahre gährungsfähige Zuckerart: (Chondroglycose) Traubenzucker. Diese Bildung von Zucker aus einem nächsten Abkömmling der Albuminate ist von grösster Wichtigkeit für unsere Auffassung der Umsatzvorgänge bei der Eiweisszersetzung. Ein mögliches Zersetzungsprodukt der Albuminate ist also sicher Zucker. Man kann den Knorpelleim als ein stickstoffhaltiges Glucosid, d. h. eine gepaarte Zuckerverbindung, bezeichnen.

Das Chitin aus dem Hautskelet etc. der Artikulaten und das **Hyalin** (= Chitin?) aus den Echinococcus-Blasen sind ebenfalls stickstoffhaltige Glucosite wie das Chondrin. Die Zusammensetzung des Chitins ist: C 46,32; H 6,40; N 6,14; O 41,14. Durch Kochen mit Schwefelsäure liefert es Traubenzucker und Ammoniak.

Die Reihe der aufgeführten Stoffe zeigt uns, dass aus dem Eiweiss durch rückschreitende Metamorphose gepaarte Zuckerverbindungen hervorgehen können, die neben wahrem Zucker: Traubenzucker, verschiedene stickstoffhaltige Paarlinge, Leucin, Tyrosin, Ammoniak u. a. enthalten. Es gestattet uns diese Zersetzung der Albuminate vielleicht einen Schluss auf ihre mögliche Constitution. Als ein schwefelhaltiges Spaltprodukt des Albumins werden wir noch das Taurin kennen lernen. Die nahe Verwandtschaft und die leichte Ueberführbarkeit des Zuckers in Fette in der Pflanzenzelle auch ohne Einwirkung des Chlorophylls ist oben besprochen worden. Unzweifelhaft sehen wir Zucker und zuckerbildende Stoffe (Glycogen) unter den Produkten der regressiven Eiweissmetamorphose auftreten. Sehr wahrscheinlich ist auch die Bildung von Fettsäure aus Albuminaten, und KÜHNE macht darauf aufmerksam, dass das Glycogen der Leber eine Zwischenstufe zwischen Zucker und Fetten resp. Fettsäuren darstellen könnte. Dass das Glycogen der Leber durch Genuss von Kohlehydraten gesteigert werden kann, ist mit Rücksicht auf die Entstehung des Fettes bei der Mastung zu beachten. Mit Rücksicht auf die Streitfrage, ob Fett bei der Mastung aus Kohlehydraten gebildet werden könne (LIEBIG), oder ob es nur aus der directen Zufuhr von Fetten (resp. Fettsäuren, eine Möglichkeit, welche KÜHNE durch die gelungene Mästung eines Hundes mit Seife bewiesen hat) und durch Zersetzung von Albuminaten (VOIT u. A.) entstehen könne, ist der Ausspruch KÜHNE's zu beherzigen: »Seit das Glycogen als Erzeugniss des Thierkörpers entdeckt ist, und seit man weiss, dass diese den Kohlehydraten zugehörige Substanz in der Leber gebildet wird, selbst wenn den Thieren in der Nahrung keine Spur von Kohlehydraten, sondern nur Eiweiss gereicht wird, fällt die Frage über die Fettbildung aus Eiweiss fast mit der über Fettentstehung aus Zucker zusammen. Jedenfalls fehlen noch die Grundlagen, um die Frage definitiv zu entscheiden, was nur auf chemischem Wege, aber kaum durch Fütterungsversuche gelingen kann, deren Resultat sich aus zu vielen uncontrolirbaren Faktoren zusammensetzt.

Cerebrin: $C_{17}H_{33}NO_3$. Weisses, trockenes, im Wasser quellendes Pulver, aus dem Gehirn von W. MÜLLER in reichlicher Menge dargestellt. Es wurde als ein »Hauptbestandtheil« im Gehirn, Nervenmark, dann in den Eiterzellen nachgewiesen, seine Anwesenheit im Eidotter wurde von GOBLEY behauptet. Es ist ein Glycosid, längere Zeit mit Säuren gekocht, spaltet es sich in eine linksdrehende, nicht gährungsfähige Zuckerart. Gemengt oder verbunden (?) mit Lecithin, ist das Cerebrin das Protagon LIEBREICH's, für welches dieser als Formel berechnet: $C_{116}H_{241}N_4PO_{22}$.

Wir reihen hier den neben den Albuminaten wichtigsten Bestandtheil des Protoplasmas aller entwickelungsfähigen Zellen im Thier- und Pflanzenreiche, das N- und P-haltige **Lecithin**, resp. die Lecithine (GOBLEY, DIACONOW) und deren Zersetzungsprodukte an. Die Lecithine sind schwer krystallisirende, wachsartige, sehr hygroskopische Stoffe, sie quellen im Wasser zu schleimiger Consistenz auf und lösen sich leicht in Alkohol, Aether, Oelen und Chloroform. Durch Kochen mit Barytwasser und Fäulniss liefern die Lecithine unter Aufnahme von $3H_2O$ Cholin, Stearinsäure (resp. Palmitinsäure oder Oelsäure) und Glycerinphosphorsäure:

$$\underset{\text{Lecithin}}{C_{44}H_{90}NPO_9} + 3H_2O = \underset{\text{2 Stearinsäure}}{2\,C_{18}H_{36}O_2} + \underset{\text{Glycerinphosphorsäure}}{C_3H_9PO_6} + \underset{\text{Cholin}}{C_5H_{15}NO_2}$$

Nach DIACONOW ist das Lecithin: distearylglycerinphosphorsaures Cholinsalz. Da sich statt des Stearinsäurerestes im Lecithin auch der Rest der Palmitinsäure oder Oelsäure finden kann, so hat man wenigstens drei einander sehr nahe stehende Lecithine zu unterscheiden. Das Lecithin findet sich im Thierreiche reichlich im Gehirn und Nervenmark, im Eidotter, auch in dem der Fische, dem Sperma namentlich der Fische, dann wird seine Anwesenheit behauptet in der Milch, im Blut, in den electrischen Organen des Torpedo, im Eiter, in der Galle; im Pflanzenreiche: in Pflanzensamen, Sporen, Knospen und jungen Trieben im Frühling. In der Hefe und in Pilzen, wo es HOPPE-SEYLER ebenfalls angibt, konnte es O. Löw

nicht auffinden. Die Lecithine stehen in ihrer Constitution den Fetten sehr nahe und könnten wohl eine Stufe für deren Bildung sein (ERLENMEYER, HOPPE-SEYLER).

Cholin, Neurin: $C_5H_{15}NO_2$. Es ist ein basischer Körper, welcher aus Eidotter, Gehirn, Galle, auch aus Pflanzentheilen dargestellt wurde als Zersetzungsprodukt des Lecithins. Das Cholin kann künstlich dargestellt werden durch Erhitzen concentrirter wässeriger Lösungen von Trimethylamin: $N(CH_3)_3$ und Aethylenoxyd: C_2H_4O. Seine Formel ist

$$C_2H_4 \begin{cases} OH \\ N(CH_3)_3OH. \end{cases}$$

Glycerinphosphorsäure: Eine zweibasische Aethersäure, welche künstlich durch Vermischen von Glycerin mit Phosphorpentoxid entsteht. Glycerin: $C_3H_5(OH)_3$; Glycerinphosphorsäure: $C_3H_5 \begin{cases} (OH)_2 \\ O\,PO(OH)_2. \end{cases}$

DIACONOW gibt dem Lecithin die Formel, welche nach dem Gesagten verständlich ist

$$C_3H_5 \begin{cases} (C_{18}H_{35}O_2)_2 \\ \qquad\qquad\;\; OH \\ O - PO\{- N(CH_3)_3 - C_2H_4OH. \end{cases}$$

Ausser dem Lecithin kommt nach MIESCHER ein zweiter hochzusammengesetzter, organischer, phosphorhaltiger Stoff von bis jetzt noch unbekannter Constitution im thierischen Körper vor, das:

Nuclein: $C_{29}H_{49}N_9P_3O_{22}$. MIESCHER fand es in den Kernen der Eiterkörperchen, im Eidotter, im Sperma des Lachs, anderer Fische und des Stiers, HOPPE-SEYLER: in der Bierhefe, Weizenkleie, in den Zellen einer menschlichen Papillomgeschwulst, in den Kernen der rothen Blutkörperchen von Vögeln; in der Leber vom Rind constatirte es PLOSZ, JAKSCH im Gehirn, SERTOLI in den Spermatozoiden. Das Nuclein ist nicht, wie sein Name andeuten sollte, an die Anwesenheit von Zellkernen geknüpft. In den Blutkörperchen der Säugethiere fehlt es. Es ist in Wasser fast unlöslich, unlöslich in verdünnten Mineralsäuren, leicht löslich in verdünnten Aetzalkalien, auch in Ammoniak. Der Magensaft greift es sehr schwer an. Es zerlegt sich beim Stehen in schwach sauren Flüssigkeiten und wird durch Kochen mit Wasser, schneller mit Alkalilauge oder Barytwasser, zerlegt, unter Bildung von phosphorsaurem Salz. Nur in den Spermatozoen des Lachses fand es MIESCHER in einer salzartigen Verbindung mit einer organischen, basischen Substanz (Protamin).

Ungeformte Fermente (cf. S. 70). Ehe wir zu den weiteren stickstoffhaltigen und stickstofffreien Spaltungsprodukten des Albumins fortschreiten, haben wir hier noch Stoffe zu erwähnen, die man früher für Albuminate gehalten hat, und die man nun als Abkömmlinge der Albuminate bezeichnet, obwohl über sie kaum etwas Anderes weiter feststeht, als dass sie die Eiweissreaktionen nur spurweise oder gar nicht geben. Es sind das die sogenannten Verdauungsfermente. Bei unserer Unkenntniss über das Wesen der Fermentation ist es vorerst nur ein Nothbehelf für unsere Vorstellung, eigenthümliche chemische Stoffe als Fermente aufzustellen. Ob es derartige »Fermente« wirklich gibt, ob die Fermentwirkungen nur von gewissen »Zuständen« uns bekannter oder unbekannter chemischer Stoffe abhängen, ist uns vollkommen unbekannt. J. P. DAHLEM behauptet, dass die Hefe und andere Gährungsorganismen die Fähigkeit besitzen, Sauerstoff aufzunehmen und damit Wasserstoffsuperoxyd zu bilden, welches dann die sogenannten fermentativen Zersetzungen bewirke. Für den Uebergang der Stärke in Dextrin und Zucker stellt er folgende Formel auf:

$$2\,C_6H_{10}O_5 + H_2O_2 + O_3 = C_6H_{10}O_5 + C_6H_{12}O_6 + 2\,H_2O.$$

Weiteres vergleiche man Seite 70 und bei der speciellen und historischen Darstellung der Verdauung. Mit den wahren Gährungsvorgängen haben die Fermentationen im Organismus gemein, dass sie von denselben Einflüssen unterdrückt und begünstigt werden, dass sehr geringe Mengen der sogenannten »reinen Fermente« die chemischen Veränderungen grosser Stoffmengen bewirken können. Zur Reindarstellung dieser Fermente benutzt man ihre Löslichkeit in Glycerin und ihre Eigenschaft, aus wässeriger Lösung durch voluminöse Niederschläge, wie z. B. durch Zusatz von Cholesterinlösungen, Collodium etc., mit niedergerissen zu werden. Bemerkenswerth ist, dass diese »Fermente« eine Erhitzung im trockenen Zustand über 1[illegible]

erlauben, ohne an Wirksamkeit abzunehmen (Hüfner, Al. Schmidt u. A.). O. Nasse findet, dass CO_2 ihre Wirkung steigert, O und CO dagegen herabsetzt. Im Organismus nimmt man jetzt wenigstens drei verschiedene Fermentationen an:

1) Zuckerbildung aus Stärke, Dextrin und Glycogen durch den Speichel, den Pankreassaft, das Leberextrakt und das Extrakt anderer Organe (zuckerbildendes Pankreasferment, animalische Diastase, Ptyalin).

2) Fettzerlegung in Glycerin und freie Fettsäuren durch den Pankreassaft.

3) Umwandlung der Eiweisskörper und Albuminoide (geronnener und gelöster) in Peptone und weitere Spaltung derselben in Leucin, Tyrosin, Zucker etc. durch Magensekret (Ferment: Pepsin), durch Pankreas- und Darmsaft. Weiteres über Fermente bei den betreffenden Organen und Stoffen.

v. Gorup-Besanez constatirte diastatische und peptonbildende Fermente im Pflanzenreich: im Samen von Canabis indica, Linum usitatissimum und in der gekeimten Gerste. Fermentfrei erwiesen sich: Lupinensamen und Secale cornutum. Mit H. Will constatirte derselbe die von Hooker entdeckte eiweissverdauende Funktion der Sekrete verschiedener Nepenthesarten. In dem sauer reagirenden, nach Reizung durch Insekten abgesonderten Safte lösten sich gequollenes Fibrin zu Pepton, nach Zusatz von etwas Salzsäure alle Eiweissstoffe und Leim. Der neutrale, aus nicht gereizten Pflanzen stammende Saft erhielt durch Säurezusatz dasselbe Vermögen. Der Saft der Nepenthesschläuche ist sonach eine pflanzliche Pepsinlösung. Aus Blättern der Drosera rotundifolia konnte Hoppe-Seyler dagegen weder durch 0,2% Salzsäure, noch durch Digeriren mit Glycerin das verdauende Ferment ausziehen, dasselbe ist somit sicher von Pepsin verschieden. — Die »reinen Eiweissstoffe«, z. B. Serumeiweiss, enthalten nach Seegen »diastatisches Ferment«.

II. Stickstofffreie Stoffe.

Die Fette werden theils, wie wir oben bei der Besprechung der Bestandtheile der Pflanzenzelle sahen, in der Nahrung, und zwar auch in der vegetabilischen, eingeführt, theils stammen sie wohl aus der Zersetzung der Albuminate. Analog ist es mit den im Körper sich findenden Kohlehydraten und einer Anzahl anderer Stoffe, die theils als Produkte der regressiven Metamorphose der Körperstoffe, theils als Nahrungsbestandtheile und deren Zersetzungsprodukte aufzufassen sind. Ohne Rücksicht auf ihren Ursprung führen wir im Folgenden die übrigen Körperbestandtheile an.

Organische stickstofffreie Säuren. — 1) **Die Fettsäuren** von der allgemeinen Formel $C_nH_{2n}O_2$ finden sich schon oben S. 65 zusammengestellt. Sie bilden eine homologe Reihe. Die kohlenstoffärmeren können aus den kohlenstoffreicheren durch Oxydation unter Ausscheidung von CO_2 und H_2O dargestellt werden, in den pflanzlichen Organismen bilden sich die kohlenstoffreicheren wohl durch Desoxydation in der umgekehrten Richtung. Flüchtige Fettsäuren findet man in manchen sich zersetzenden Sekreten (z. B. Schweiss); ob sie in der normalen Zusammensetzung der Gewebe sich finden, ist zweifelhaft. Im animalen Organismus kommen kohlenstoffreiche Fettsäuren in Fetten (cf. S. 65) vor; durch die Pankreasverdauung werden im Darm die Fette zum Theil in Glycerin und Fettsäuren zerlegt, welche letztere sich mit Alkalien (Kali und Natron) zu fettsauren Alkalien = Seifen verbinden, die sich in Wasser lösen und zugleich die Fähigkeit haben, sich mit Fetten zu mischen, was für die Verdauung von grosser Bedeutung ist. Essigsäure und Capronsäure kommen als Amidoverbindungen (Glycin und Leucin) vor. Aus Lecithin werden Fettsäuren gewonnen durch Zersetzung.

2) **Säuren der Acrylsäurereihe** (Oelsäuren). — **Die Oelsäure** (Oleinsäure, Elainsäure) findet sich von dieser Reihe allein im Körper vor in Begleitung der Fettsäuren und wie diese als neutrales Fett = Olein, z. B. im Schweineschmalz, als Seife, im Lecithin. $C_{18}H_{34}O_2$.

3) **Säuren der Milchsäurereihe.** — **Die Milchsäure** $C_3H_6O_3$ findet sich im Magensaft und anderen Körperflüssigkeiten, wohl stets wie in saurer Milch als Produkt der Milchsäuregährung des Zuckers.

Die Fleischmilchsäure (Paramilchsäure und Aethylenmilchsäure) ist ein Stoffwechselprodukt vor allem der Muskeln, welches aus den Kohlehydraten des Muskels (Glycogen, Dextrin, Zucker) entsteht. Die beiden Milchsäuren sind isomer und unterscheiden sich durch die Löslichkeit und Krystallform ihrer Salze. Die gewöhnliche Milchsäure leitet sich von Aldehyd ab, die Fleischmilchsäure lässt sich aus Aethylenverbindungen ableiten. Die aufgelösten Formeln für beide Säuren sind daher:

$$\text{gewöhnliche Milchsäure} \begin{cases} CH_3 \\ CH\ OH; \\ CO\ OH \end{cases} \quad \text{Fleischsäure} \begin{cases} CH_2\ OH \\ CH_2 \\ CO\ OH \end{cases}$$

R. Maly konnte Fleischmilchsäure als gelegentliches Gährungsprodukt des Zuckers, Dextrins und anderer Kohlehydrate nachweisen.

4) **Säuren der Oxalsäurereihe.** — **Die Oxalsäure** $C_2H_2O_4$ findet sich hier und da im Harn mit Kalk verbunden, ob normal, ist ungewiss.

Die Bernsteinsäure findet sich normal in kleiner Menge im animalen Organismus. $C_4H_6O_4$, im Harn des Menschen, in der Milz, Thyreoidea, Thymus, in Leberechinococcus- und Hydroceleflüssigkeit.

Alkohole. — **Das Cholesterin** findet sich im Eidotter, Gehirn, Galle etc., soll auch in den Erbsen vorkommen. Es ist ein einwerthiger Alkohol: $C_{26}H_{43}OH$. Spec. Gew. 1046—1047 (C. Méhu). Abbildung Fig. 73.

Das Glycerin, ein dreiwerthiger Alkohol: $C_3H_5(OH)_3$, findet sich nach der Fettzerlegung im Darme durch das Pankreassekret frei. Ueberdies kommt es (in den Fetten) noch in Form von Aetherarten vor, die neutralen Fette sind Glycerinäther (cf. oben).

Die Zuckerarten. — Man schliesst sie gewöhnlich an die Alkohole an, doch ist ihre Constitution noch nicht genau erkannt. Baeyer hält es nach der Bildung des Zuckers aus Formalaldehyd und den Formeln der Schleim- und Milchsäure für wahrscheinlich, dass der Zucker ein Aldehyd sei. Mit Stärkemehl, Gummi, Dextrin, Cellulose bilden sie die sogenannten oben S. 64 angeführten vegetabilischen Kohlehydrate. Im animalen Organismus sind folgende Zuckerarten sicher nachzuweisen (cf. bei Harn):

Traubenzucker, Dextrose oder Stärkezucker $C_6H_{12}O_6$, kommt in geringen Mengen fast in allen thierischen Flüssigkeiten und Gewebssäften vor: in Blut, Muskeln, Leber, Harn etc. Bei dem Zustand des Diabetes mellitus (Zuckerharnruhr) kann er in sehr grossen Mengen auftreten und im Harn ausgeschieden werden. Er besitzt die Eigenschaft, in alkalischer Lösung aus Kupferoxydsalzen beim Kochen gelbrothes Oxydul zu reduciren (Trommer'sche Probe). Aus Silbersalzen fällt er metallisches Silber. Versetzt man eine Zuckerlösung mit alkalischer Wismuthoxydlösung und kocht einige Minuten, so scheidet sich beim Stehen ein schwarzes Pulver ab (Böttcher'sche Probe) (cf. Harnanalyse). Er dreht die Polarisationsebene nach rechts. Er ist gährungsfähig, durch Hefe zerfällt er fast ganz in Aethylalkohol und Kohlensäure. Bei Gegenwart von faulenden Eiweisskörpern (und Milchsäurehefe) zerfällt er in Milchsäure.

Inosit wurde zuerst als Bestandtheil des Herzmuskels nachgewiesen. Wasserfrei hat er auch die empirische Zusammensetzung: $C_6H_{12}O_6$. Er dreht nicht die Polarisationsebene, reducirt Kupferoxydsalze nicht, ist der weingeistigen Gährung nicht, wohl aber der Milchsäuregährung fähig. Nachweis: Wird Inositlösung oder eine inosithaltige Mischung mit Salpetersäure auf Platinblech (Porzellanscherben) fast bis zur Trockene abgedampft, der Rückstand mit Ammoniak und etwas Chlorcalcium übergossen und dann vorsichtig bis zur Trockene verdunstet, so entsteht eine lebhaft rosenrothe Färbung, die noch 1 Milligramm Inosit erkennen lässt. Er ist gefunden im Herzmuskel, Pferdefleisch, Ochsenblut, in Echinococcusflüssigkeit von Schafen, in der Leber, Lunge, im Gehirn, in der Milz, in den Nieren; pathologisch im Harn bei Morbus Brighti, Urämie, zuweilen bei Diabetes mellitus an Stelle des meist früher vorhanden gewesenen Traubenzuckers, bei Cholerareconvalescenten, Gehirntumoren, ferner in den willkürlichen Muskeln von Säufern oft in erheblicher Menge. Krystallisirt im klinorhombischen System mit $2\,H_2O$.

Scyllit fanden Frerichs und Städeler in mehreren Organen der Plagiostomen, in den Nieren des Rochen und Haifisches; es unterscheidet sich vom Inosit durch die Krystallform und den Mangel der oben angegebenen Inositreaktion.

Milchzucker $C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O$ kommt in der Milch der Säugethiere vor, aus deren eingedampfter Molke er sich in rhombischen Krystallen ausscheidet. Er ist direct nur der Milchsäuregährung fähig (wobei immer etwas Alkohol und Mannit entsteht), mit verdünnten Säuren gekocht verwandelt er sich in eine dem Traubenzucker sehr nahestehende, direct der Alkoholgährung fähige Zuckerart. Er dreht die Polarisationsebene nach rechts. Eine alkalische Lösung eines Kupfersalzes wird von Milchzucker schon in der Kälte reducirt. Er gibt auch die Böttcher'sche Probe (cf. Traubenzucker). Bouchardat fand neben anderen Zuckerarten Milchzucker im Safte der Früchte von Achras sapota.

Ausser den Zuckerarten kommen noch andere Kohlehydrate, die zum Theil leicht in Zucker übergeführt werden können, im animalen Organismus vor, die sich hier anschliessen:

Glycogen, animalische Stärke von der empirischen Zusammensetzung: $C_6H_{10}O_5$. Es findet sich vor allem als Bestandtheil der Leber, ausserdem in vielen embryonalen Organen, im Fleisch nach Brücke regelmässig, spurweise auch in Blut und Drüsen: Milz, Nieren, Milchdrüsen. Chittenden fand Glycogen zu 1,98—2,93% im Mittelmuskel der essbaren Kammmuschel. Salomon fand Glycogen im Eiter künstlich erzeugter Abscesse und nimmt an, dass dasselbe von den Eiterkörperchen resp. weissen Blutzellen gebildet werde. Schneeweisses, mehlartiges, amorphes Pulver. Im heissen Wasser löslich, mit Aetzkali klare Lösung gebend. Die wässerige Lösung zeigt starke rechtsseitige Polarisation. Reducirt alkalische Kupferlösungen nicht. Mit Jod färbt es sich rothbraun bis dunkelroth. Kann durch verdünnte Säuren, dann Speichel, Bauchspeichel, Lebersaft, Blut, Diastase etc. leicht in Traubenzucker umgewandelt werden. Seegen bemerkte, dass das Glycogen beim Digeriren mit Speichel bei weitem nicht die theoretisch erwartete Zuckermenge liefere, nach O. Nasse nur etwa die Hälfte, 45—48%, ebenso wirkt Pankreasextract; hiebei entsteht Brücke's Achroodextrin und Ptyalose erst durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure, Traubenzucker, welcher sich in der Leber und im Muskel (Meissner, J. Ranke) sofort bildet. Nach Finn's Versuchen wandelt sich auch in der Leber das gesammte Glycogen in Zucker um. Auch durch Speicheleinwirkung auf Glycogen gewann er nach 78 Stunden 74% der theoretisch geforderten Zuckermenge, Seegen und O. Nasse haben also die Versuche zu kurze Zeit fortgesetzt. Die Glycogene, mögen sie bei der Ernährung erzeugt sein, aus welchem Stoffe sie wollen, sind nach Finn identisch. — Ausserdem ist noch im animalen Korper von Kohlehydraten nachgewiesen:

Dextrin, Stärkegummi: $C_6H_{10}O_5$, im Pferdefleisch, im Blut (namentlich der Lunge) der Herbivoren, in der Leber mit Hafer gefütterter Pferde, im Darminhalt nach amylaceenhaltiger Nahrung. In Wasser löslich, farb- und geschmacklos, concentrirt klebt es. Mit einer Lösung von Jod in Jodkalium färbt sich das Dextrin: Erythrodextrin (Brücke) roth. Es ist direct der Milchsäuregährung fähig; durch verdünnte Säuren (Schwefelsäure) und Speichel, Diastase geht Dextrin leicht in Traubenzucker über. Brücke unterscheidet von diesem Dextrin Erythrodextrin, ein Achroodextrin, das sich mit Jod nicht färbt. Beide Dextrinarten sind von der löslichen Stärke verschieden, welche sich mit Jodtinctur blaut.

Die Cellulose $C_6H_{10}O_5$, im Mantel der Tunicaten als Zwischenzellsubstanz aufgefunden (cf. S. 9).

Paramylon von derselben empirischen Zusammensetzung wie das Stärkemehl auch $C_6H_{10}O_5$ in Körnchen in der Infusorienspecies Euglena viridis gefunden. Gibt die Jodreaktion nicht; längere Zeit mit rauchender Salpetersäure behandelt, liefert es eine gährungsfähige Zuckerart.

Aetherarten. — Cf. Fette.

III. Stickstoffhaltige Stoffe.

Ammoniakderivate und ihre Verbindungen von bekannter Constitution. — a) **Amine.** — Methylamin, Trymethylamin, Zersetzungsprodukte des Kreatins und Cholins.

b) **Amide.** — **Harnstoff:** Biamid der Kohlensäure, Carbamid. Die wasserhaltige Kohlensäure hat die Formel: $CO(OH)_2$; Harnstoff: $CO(NH_2)_2 = CH_4N_2O$. Beide OH der wasserhaltigen Kohlensäure sind durch je ein NH_2 ersetzt. Der Harnstoff ist für die Physiologie von Wichtigkeit, da die Hauptmasse alles im Körper umgesetzten Stickstoffs der stickstoffhaltigen Körper- und Nahrungsbestandtheile bei Säugethieren den Körper in der Form des Harnstoffs im Harn verlässt. Harnstoff findet sich neben Harnsäure auch im Harn der Reptilien und Vögel. Der Harnstoff löst sich leicht in Wasser und Alkohol, kaum in Aether, seine Salze mit Salpetersäure und Oxalsäure sind dagegen schwer löslich. Mit salpetersaurem Quecksilberoxyd bildet er eine complicirte Verbindung, die zur quantitativen Harnstoffbestimmung nach Liebig verwendet wird. Der Niederschlag hat schliesslich die Zusammensetzung: $Hg(NO_3)_2 + 2CO(NH_2)_2(HgO)_3$. Der Harnstoff zersetzt sich leicht beim Kochen (100° C), Faulen, gelegentlich auch im Darm, unter Aufnahme von $2H_2O$ in kohlensaures Ammoniak: $CO\left\{\begin{matrix}NH_2\\NH_2\end{matrix}\right. + 2H_2O = CO\left\{\begin{matrix}ONH_4\\ONH_4\end{matrix}\right.$; $NH_4(OH)$ Ammoniumoxydhydrat, $CO(ONH_4)_2$ = kohlensaures Ammoniak. Der Harnstoff wurde im Jahr 1799 von Fourcroy und Vauquelin bestimmt als Bestandtheil des menschlichen Harns erkannt und als urée, d. i. Harnstoff, bezeichnet. Harnstoff war die erste organische Substanz, welche künstlich dargestellt wurde: Wöhler lehrte 1828 die künstliche Darstellung aus cyansaurem Ammoniak, aus dem er durch blosse Umlagerung der Bestandtheile leicht entsteht, in wässeriger Lösung namentlich beim Eindampfen: $\left.\begin{matrix}CN\\CH_4\end{matrix}\right\}O = CO\left\{\begin{matrix}NH_2\\NH_2\end{matrix}\right.$. Er entsteht auch durch Einwirken von trockenem Ammoniak auf Carbonylchlorid (Phosgengas $CO\left\{\begin{matrix}Cl\\Cl\end{matrix}\right.$). Für die Physiologie ist die Entstehung des Harnstoffs als Zersetzungsprodukt anderer im animalen Organismus sich bildender Stoffe von besonderer Wichtigkeit. Harnsäure liefert 1) bei trockener Destillation Harnstoff (Wöhler), 2) bei Einwirkung von Oxydationsmitteln (Liebig), 3) im Organismus (Wöhler und Frerichs). Kreatin wird beim Kochen mit Barytwasser in Harnstoff und Sarkosin zersetzt (Liebig). Oxalursäure, ein Zersetzungsprodukt der Harnsäure zerfällt beim Kochen in Harnstoff und Sarkosin (Liebig). Der Harnstoff krystallisirt in quadratischen Prismen. Seine Lösungen reagiren neutral. (Die Abbildungen der Krystallformen bei Haut).

c) **Amidosäuren.** — **Glycin** (Glycocoll, Leimzucker) = Amidoessigsäure $C_2H_5NO_2$ entsteht, wenn thierischer Leim (Glutin) mit verdünnter Schwefelsäure gekocht wird, auch bei der Pankreasverdauung des Leims (Nencki), schmeckt süss. Glycin kann künstlich dargestellt werden durch Monochloressigsäure mit Ammoniak. Essigsäure = $C_2H_3O(OH)$; Glycin = $C_2H_2[NH_2]O(OH)$. Das Glycin ist eine schwache Säure, verbindet sich aber auch als Aminbase mit Säuren; es findet sich in solchen Verbindungen in der Galle und normal im Harn der Pflanzenfresser. Frei will es Chittenden zu 0,39—0,71% im Mittelmuskel der essbaren Kammmuschel nachgewiesen haben.

Im Harn findet sich die Verbindung des Glycins mit Benzoësäure ($C_6H_5CO_2H$):

Hippursäure = Glycobenzoësäure $C_9H_9NO_3$. Sie ist Glycin, in welchem 1 Atom Wasserstoff durch das einwerthige Radical Benzoil (das Radical der Benzoësäure C_6H_5CO) ersetzt ist.

$$\text{Glycin: }\left.\begin{matrix}H\\H\\\left\{\begin{matrix}CH_2\\CO_2H\end{matrix}\right.\end{matrix}\right\}N;\quad\text{Hippursäure: }\left.\begin{matrix}H\\C_6H_5CO\\\left\{\begin{matrix}CH_2\\CO_2H\end{matrix}\right.\end{matrix}\right\}N$$

Benzoësäure wird im menschlichen und im Körper der Säugethiere vollständig in Hippursäure verwandelt, andere aromatische Säuren entweder ebenfalls oder in ganz analoge Glycinverbindungen (cf. Harn).

In der Galle befindet sich als Verbindung des Glycins

Glycocholsäure $C_{26}H_{43}NO_6$ (cf. Taurocholsäure).

Taurin $C_2H_7NSO_3$. Es ist das Amid der Isäthionsäure: $C_2H_4 \left\{ \begin{matrix} OH \\ SO_3H \end{matrix} \right.$; Taurin: $C_2H_4 \left\{ \begin{matrix} NH_2 \\ SO_3H \end{matrix} \right.$ findet sich als Zersetzungsprodukt der Gallensauren im Darm und in den Excrementen. Normal in den Muskeln vieler Fische, in verschiedenen Organen der Plagiostomen, in den Muskeln der Mollusken, in den Nieren und Lungen verschiedener hoherer Säugethiere, im Pferdefleisch, pathologisch im Blut und in seinen Transsudaten, im Harn bei Icterus und Leberkrankheiten. Das Taurin ist charakterisirt durch seinen reichen Schwefelgehalt 25.6%, der sich bei dem Erhitzen als schwefelige Säure entwickelt. Es krystallisirt in durchsichtigen, farblosen sechsseitigen Prismen. Sein wichtigstes Vorkommen ist in gepaarter Verbindung mit Cholsäure in der Galle analog der Verbindung des Glycins mit Cholsäure, der Glycocholsäure. Diese Verbindung des Taurins ist die

Taurocholsäure: $C_{26}H_{45}NSO_7$.

Glycocholsäure und Taurocholsäure sind die specifischen Bestandtheile des Lebersekretes: **die Gallensäuren**, welche in der Galle an Alkalien (namentlich Natron) gebunden sich finden. Die gallensauren Alkalien verhalten sich physikalisch in mancher Hinsicht wie Seifen = fettsaure Alkalien, indem sie sich wie diese in Wasser lösen, aber auch mit Fetten und Oelen mischen, wodurch sie eine Bedeutung für die Fettresorption im Darme erhalten. Beide drehen den polarisirten Lichtstrahl nach rechts.

Die Glycocholsäure löst sich leicht in Alkohol, dagegen schwer in Wasser, besonders kaltem, sie krystallisirt in seidenglänzenden Nadeln. Aus den wässerigen Lösungen der glycocholsauren Salze fällen Säuren (auch Essigsäure) einen harzartigen Niederschlag. Mit Barytwasser längere Zeit gekocht, zerfällt die Glycocholsäure in Glycin und Cholsäure. Mit Schwefelsäure oder Salzsäure gekocht, zerfällt sie in Glycin und Choloidinsäure. Die Taurocholsäure enthält 3,21% Schwefel. Sie zerfällt beim Kochen mit Alkalien in Taurin und Cholsäure, beim Kochen mit Säuren in Taurin und Choloidinsäure. Die Taurocholsäure ist an der Luft leicht zerfliesslich.

Die Cholsäure (Cholalsäure), welche von der Glycocholsäure und Taurocholsäure abgespalten werden kann, ist in ihrer Constitution noch nicht erkannt, ihre Formel ist empirisch: $C_{24}H_{40}O_5$. Sie soll in geringen Mengen im Dickdarm von Menschen, Rindern und Hunden vorkommen, auch im Harn bei Icterus. Sie krystallisirt nach verschiedenen Systemen aus verschiedenen Lösungsmitteln. Zeigt starke rechtsseitige Polarisation; löst sich schwer in Wasser, leicht in Alkohol und Aether. Ueber 195°C. erhitzt, verwandelt sie sich unter Abgabe von 1 Aeq. Wasser in Choloidinsäure und bei 295° in Dyslisin. Beide entstehen auch durch Kochen mit Salzsäure und sollen sich in den Excrementen finden. Die Choloidinsäure ist wie ihre Salze amorph, löslich in Alkohol, schwerer in Aether, nicht in Wasser. Ihre Zusammensetzung ist: $C_{24}H_{38}O_4$, die des Dyslisins: $C_{24}H_{36}O_3$. In Alkohol und Wasser unlöslich, wenig löslich in Aether.

Die Cholsäure, Choloidinsäure und das Dyslisin geben die Pettenkofer'sche Probe wie die Gallensäure selbst. Versetzt man wässerige Losungen der Gallensäuren mit wenigen Tropfen Zuckerlösung und concentrirter Schwefelsäure, so färbt sich die Flussigkeit beim Schütteln, prachtvoll purpurviolett und dann kirschroth. Die Schwefelsäure muss dazu frei sein von schwefliger, salpetriger und Salpeter-Säure (cf. Galle). Mit rauchender Salpetersäure destillirt, liefert die Cholsäure: Caprin-, Capryl- und Cholesterinsaure, wodurch sie sich (?) an die Fettsäuren anschliesst, mit denen sie auch die seifenartigen Verbindungen mit Alkalien gemein hat.

In der Schweinegalle findet sich an Stelle der Cholsäure die Hyocholsäure: $C_{25}H_{40}O_4$, welche ebenfalls mit Taurin und Glycin gepaarte Säuren bildet: Hyotaurocholsäure $C_{27}H_{45}NSO_6$ und Hyoglycocholsäure: $C_{27}H_{43}NO_5$ und ein Hyodyslisin $C_{25}H_{38}O_3$ liefert.

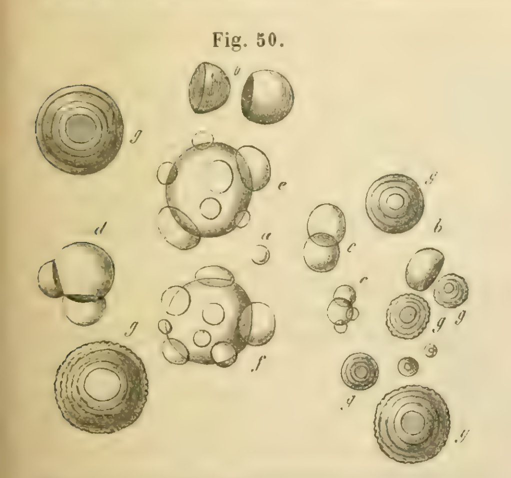
In der Gänsegalle findet sich an Stelle der Cholsäure die Chenocholsäure: $C_{27}H_{44}O_4$, welche, mit Taurin gepaart, die Chenotaurocholsäure liefert: $C_{29}H_{51}NSO_7$. —

Das Leucin ist das Amid der Capronsäure: $C_6H_{13}NO_2 = C_6H_{10}NH_2O.OH$, findet sich im Pankreas normal, sonst in sehr vielen Korperbestandtheilen als Produkt der Zersetzung, wobei es sowie durch Säuren und Alkalien aus Albuminaten und albuminoiden Stoffen entsteht; krystallisirt in perlmutterglänzenden, farblosen Schuppchen. Unter dem Mikroskop erscheint es in Form von stark lichtbrechenden, meist concentrisch geschichteten Kugeln, die aus concentrisch gruppirten, nadelformigen Krystallen bestehen. Häufig zeigen die Kugeln des Leucin eine rauhe, wie angefressene Oberfläche, und nicht selten sitzen grosseren Kugeln kleinere Kugelsegmente auf (Fig. 50). v. Gorup-Besanez konstatirte die Anwesenheit des bisher nur im Thierreiche nachgewiesenen Leucin (neben Asparagin) in den Keimen der Wicken. Auch das aus Chenopodium alb. von Reinsch erhaltene »Chenopodin« hält er fur Leucin.

Das Tyrosin ist auch eine Amidosäure, deren Natur aber noch nicht aufgeklärt ist; es erinnert an die Salicylverbindungen. Es tritt als Zersetzungsprodukt neben dem Leucin auf, aber in geringerer Menge, soll im Pankreas auch normal vorkommen neben Leucin, mit diesem auch in der Leber bei Leberkrankheiten und im Harn bei Lebererweichung. In den Organen niederer Thiere, namentlich der Arthropoden, soll es ziemlich häufig normal (?) vorkommen.

Der Nachweis des Leucin und Tyrosin kann für den Arzt von Bedeutung sein, da sich diese Stoffe pathologisch besonders bei Leberkrankheiten in verhältnissmässig grossen Mengen in allen Organen und Flüssigkeiten, namentlich in der Leber, vorfinden. Aus drüsigen

Fig. 50.



Kugelförmige Krystallmassen des Leucin. *a* Eine sehr kleine einfache Kugel. *bb* Halbkugelige Massen. *cc* Aggregate kleinerer Kugeln. *d* Eine grössere Kugel mit zwei Halbkugeln besetzt. *ef* Grosse Leucinkugeln mit kleineren Kugelsegmenten reichlich versehen. *gggg* Geschichtete Leucinkugeln, theils mit glatter, theils mit rauher Oberfläche und von sehr verschiedener Grösse.

Fig. 51.



Nadelförmige Krystallisationen des Tyrosin. Bei *a* die einzelnen Nadeln; bei *bb* kleinere und grosse Gruppirungen derselben.

Organen bereitet man sich einen kalten wässerigen Auszug, indem man die wohl zerhackten Gewebe mit Wasser mischt und durch einen Leinwandlappen presst. Das so gewonnene Extrakt wird gekocht, filtrirt, das Filtrat mit Bleiessig gefällt, filtrirt, Schwefelwasserstoff in das Filtrat geleitet, bis kein Schwefelbleiniederschlag mehr entsteht, filtrirt, das Filtrat abgedampft, schliesslich auf dem Wasserbad bis zur Consistenz eines dünnen Syrups eingedickt. Nun lässt man es längere Zeit ruhig, bedeckt, kühl stehen, wobei sich Leucin und eventuell Tyrosin in gelbgefärbten, warzigen Massen und Krusten abscheiden. Durch weiteres

Verdunsten der abgegossenen Mutterlauge scheidet sich meist noch mehr ab. In kochendem Alkohol werden die Krystalle gelost, kochend heiss filtrirt, wobei sich bei dem Abkuhlen das Leucin ziemlich rein ausscheidet. Das Tyrosin ist in kochendem Weingeist nicht loslich, bleibt also bei jener Behandlung im Ruckstand. Dieser wird in wenig heissem Wasser aufgelost, aus welchem das Tyrosin nach ein- bis zweimal 24 Stunden in büschelformigen Krystallen auskrystallisirt (Fig. 51).

Zum Nachweis des Leucins und Tyrosins im frischgelassenen Harn wird dieser sofort mit Bleiessig gefällt und nun im Folgenden genau wie oben verfahren. Enthält der Harn viel Leucin und Tyrosin, so scheiden sie sich schon bei dem Verdunsten auf dem Objectträger in den charakteristischen Krystallen aus.

Die Tyrosinproben sind folgende: 1) Eine Losung von Tyrosin wird durch salpetersaures Quecksilberoxyd in der Siedehitze schön rosenroth gefärbt und gibt später einen rothen Niederschlag (Hoffmann). 2) Piria'sche Reaktion. Man bringt etwas Tyrosin auf ein Uhrglas, benetzt es mit 1—2 Tropfen concentrirter Schwefelsäure, wobei es sich mit vorübergehend rother Färbung auflöst. Nun lässt man das Glas gedeckt eine halbe Stunde stehen, verdünnt mit Wasser, sättigt mit kohlensaurem Baryt, filtrirt und setzt zu dem Filtrat neutrale Eisenchloridlosung, so zeigt sich sogleich eine sehr reiche violette Farbung. 3) Scherer's Probe. Man dampft auf einem Porzellanscherben die Tyrosinlösung mit Salpetersäure vorsichtig ab, wobei ein lebhaft gelber, glänzender Rückstand bleibt, der mit Natron eine rothgelbe Flüssigkeit gibt (unsicher).

An die Amidosäuren schliesst sich auch an

Cystin: $C_3H_7NSO_2$. Ist ein Bestandtheil der Nieren, findet sich selten im Harn und in Blasensteinen. Seine Krystallform ist charakteristisch (cf. Harn).

Kreatin: $C_4H_9N_3O_2$, ist im Muskelfleisch, Gehirn, Blut etc. und im Harn enthalten und entsteht aus der Oxydation stickstoffhaltiger Gewebsbestandtheile. Es wird als Methyluramido-Essigsäure betrachtet. Volhard stellte es künstlich dar. Mit Barytwasser gekocht, zerfällt es unter Wasseraufnahme in Harnstoff und Sarkosin: $C_4H_9N_3O_2 + H_2O = CH_4N_2O$ (Harnstoff) $+ C_3H_7NO_2$ (Sarkosin). Bei der Einwirkung von Säuren, durch Kochen mit Wasser, bei Gegenwart faulender Substanzen gibt das Kreatin Wasser ab und verwandelt sich in eine starke, alkalisch reagirende Basis:

Kreatinin: $C_4H_7N_3O$, das sehr wohl charakterisirte Salze liefert, von denen das Kreatininchlorzink zur quantitativen Bestimmung des Kreatinins benutzt wird.

Ammoniakderivate und ihre Verbindungen von unbekannter Constitution. — **Harnsäure:** $C_5H_4N_4O_3$, findet sich in geringen Mengen im Harn des Menschen und der Säugethiere, in grösseren Mengen in den Excrementen der Vögel und Schlangen, Schildkröten, Leguane, der Schmetterlinge, vieler Käferarten, sowie einiger Helixarten; im Blute (bei Gicht), im Safte mehrerer Drüsen, im Herzmuskel, Gehirn; in Harnsteinen, Harnsedimenten, Gichtknoten und in Concretionen in den Gelenkhohlen bei Gichtkranken. Sie ist zweibasisch. Sie und ihre sauren Salze sind schwer in Wasser loslich, im Harn findet sich vorzüglich: harnsaures Natron, harnsaures Ammoniak, harnsaurer Kalk.

Durch Oxydation liefert die Harnsäure bei Mitwirkung von Säuren Harnstoff und

Alloxan = Mesoxalylharnstoff, d. h. Harnstoff, der das Radical der Mesoxalsäure $\left.\begin{matrix}C_3O_3\\H_3\end{matrix}\right\} O_2$ enthält:

$$C_5H_4N_4O_3 + H_2O + O = \left.\begin{matrix}CO\\H_2\\H_2\end{matrix}\right\} N_2 \text{ (Harnstoff) } + \left.\begin{matrix}CO\\C_3O_3\\H_2\end{matrix}\right\} N_2 \text{ (Alloxan).}$$

Das Alloxan wurde in diarrhoischem Schleim gefunden (Liebig), was darum wichtig erscheint, weil das Alloxan ein Nebenprodukt der Harnstoffbildung aus Harnsäure ist.

Verdampft man Harnsäure mit Salpetersäure vorsichtig zur Trockne, so bleibt ein rothlicher Ruckstand, der, mit Ammoniak befeuchtet, schon purpurroth wird. Die hier entstehende Verbindung ist das Ammoniaksalz der Purpursaure und wird als Farbe im Grossen dargestellt unter dem Namen Murexid: $C_8H_4(NH_4)N_5O_6$. Es bildet metallglänzende grüne Krystalle,

die mit Wasser eine prachtvolle purpurrothe Lösung geben, welche durch Kalilauge schon blau wird (Harnsäurenachweis cf. Harn).

Bei Gegenwart von Alkalien liefert die Harnsäurezersetzung Kohlensäure und

Allantoin, $C_4H_6N_4O_3$. Als Bestandtheil des fötalen Harns, der Allantoisflüssigkeit der Kühe und im Harn der Kälber und Säuglinge gefunden; auch im Hundeharn bei Respirationsstörungen und im menschlichen Harn nach Gerbsäuregebrauch soll es vorkommen. Eine Lösung von Allantoin liefert, mit Hefe versetzt, bei 30°C Harnstoff, oxalsaures und kohlensaures Ammoniak und eine unbekannte Säure; kochende Salpetersäure zersetzt es ebenfalls in Harnstoff und Allantoinsäure, während es sich mit concentrirten Alkalien in Oxalsäure und Ammoniak zerlegt.

An die Harnsäure schliesst sich noch an:

Xanthin: $C_5H_4N_4O_2$, Bestandtheil gewisser seltener Harnsteine, in geringen Mengen Bestandtheil des Harns, zahlreicher drüsiger Organe, des Gehirns, des Fleisches von Säugethieren und Fischen. Es kann künstlich aus Hypoxanthin erhalten werden.

Der Nachweis des Xanthins in Harnsteinen ist leicht, da diese seltenen Steine meist fast ausschliesslich aus diesem Körper bestehen. Man behandelt eine geringe Menge auf einem Porzellanscherben mit Salpetersäure, wobei es sich ohne Gasentwickelung löst, bei vorsichtigem Verdampfen bleibt ein gelber Rückstand, der sich mit Kali gelbroth färbt, aber beim Erhitzen eine violette Farbe annimmt (cf. Harnsäurenachweis, Guanin, Tyrosin).

Hypoxanthin oder **Sarkin**: $C_5H_4N_4O$ kommt neben dem Xanthin vor, in welches es durch Oxydationsmittel übergeführt werden kann. In der menschlichen Leber soll es namentlich bei sogenannter gelber Atrophie vorkommen.

Guanin: $C_5H_5N_5O$. Bestandtheil des Guano (Excremente von Seevögeln), im Pankreas, in der Leber aufgefunden, auch in den Excrementen der Spinnen und in den perlmutterglänzenden Massen in den Schuppen und Schwimmblasen der Fische. Mit Salpetersäure abgedampft, gibt es einen citronengelben Rückstand (aus Xanthin und einem gelben Nitrokörper bestehend), der sich in Kali und Ammoniak mit tiefgelbrother Farbe löst (Harnsäurenachweis und Xanthin).

Inosinsäure: $C_{10}H_{14}N_4O_{11}$ wurde in den Flüssigkeiten des Fleisches in geringer Menge gefunden.

Kynurensäure: $C_{16}H_{14}N_2O_5$ (?) im Hundeharn neben Harnsäure.

An die stickstoffhaltigen Bestandtheile des Organismus schliessen sich noch an

Die thierischen Farbstoffe. — Farbstoffe aus dem Blut. Die Mehrzahl der animalen Farbstoffe stammt aus dem Blutfarbstoff = Hämoglobin ab, von dessen Zersetzung in einen oder mehrere Eiweisskörper und einen rothen Farbstoff oben die Rede war. Diesen primär von dem Hämoglobin sich abspaltenden Farbstoff hat Hoppe-Seyler bezeichnet als Hämochromogen, der durch Sauerstoff übergeht in

Hämatin. Unter diesem Namen hat man lange eine grosse Anzahl von Körpern beschrieben, die man für den eigentlichen Blutfarbstoff ansprach, und die verschieden waren je nach den Methoden der Darstellung. Am besten gelingt seine optische Charakteristik, von der bei Blut die Rede sein wird. Die als Hämatin bezeichneten Farbstoffe waren theils krystallinisch, theils amorph. Hoppe-Seyler's Hämatin ist ein amorphes, blauschwarzes, beim Reiben rothbraunes Pulver, in Wasser und Alkohol unlöslich, löslich in wässerigem und weingeistigem Ammoniak, in schwefelsäure- und salpetersäurehaltigem Weingeist, sowie in kaustischen Alkalien. Hoppe gibt ihm die empirische Formel: $C_{34}H_{34}N_4FeO_5$ (?). Eine Umwandlung desselben durch Säuren in Gegenwart von Chlor ist das

Hämin, ein krystallisirter Körper, der zum gerichtlich-chemischen Nachweis des Blutes (cf. diesen) dient. Hoppe erklärt es für salzsaures Hämatin: $C_{34}H_{34}N_4FeO_5 . HCl$. Nach v. Gorup-Besanez scheinen weder Hämin noch Hämatin reine Verbindungen zu sein (cf. Blutfarbstoff).

Das Retinalpigment cf. bei Retina.

Der Farbstoff der Galle ist:

Bilirubin, höchst wahrscheinlich identisch mit **Hämatoidin**, das in Krystallen in alten Blutextravasaten gefunden wird. Das Bilirubin: $C_{16}H_{18}N_2O_3$ ist eisenfrei, braunroth, krystallisirbar in klinorhombischen Prismen, leicht löslich in Alkalien, Schwefelkohlenstoff, Benzol, Chloroform beim Erwärmen. Es kommt vor in Gallensteinen, in der Galle des Menschen, des Hundes, der Katze, nicht in der des Rindes, pathologisch im icterischen Harn, Blut, Gewebssäften. Mit den Alkalien bildet es wie eine einbasische Säure Verbindungen. Seinen Nachweis vergleiche man bei Galle. Wie M. HERMANN nachgewiesen hat, bildet sich der Gallenfarbstoff aus dem Blutfarbstoff in der Blutbahn. Spritzt man Hunden Hämoglobinlösungen in die Jugularvene, so wird bald darauf im Harn Gallenfarbstoff ausgeschieden, und die Galle selbst wird reicher an Farbstoff um das 4—67fache (JOHANNES Fürst TASCHANOFF). So kann ein haematogener Icterus entstehen.

Durch Oxydation, z. B. an der Luft und mit Salpetersäure, geht aus ihnen hervor, kommt aber in der menschlichen Galle normal nicht vor das

Biliverdin: $C_{16}H_{20}N_2O_5$ = Bilirubin + H_2O + O. Möglicherweise findet es sich in grüner Rindsgalle, in grüner Menschengalle, grünem icterischem Harn, dem grünen Erbrechen Kranker gibt es sicher seine Färbung, hier beginnt der Farbenwechsel der GMELIN'schen Probe (cf. diese) mit der blauen Farbe.

Bilifuscin: $C_{16}H_{20}N_2O_4$ = Bilirubin + H_2O findet sich in geringen Mengen in menschlichen Gallensteinen.

Biliprasin: $C_{16}H_{22}N_2O_6$ = Bilirubin + 2 H_2O + O in menschlichen Gallensteinen, Rindsgalle, wahrscheinlich häufig in icterischem Harn.

Bilicyanin nennen HEYNSIUS und CAMPBELL den bisher nur spectroskopisch charakterisirten blauen Farbstoff, der bei der Oxydation des Gallenfarbstoffs (z. B. bei der GMELIN'schen Probe, cf. diese) entsteht. Sie wollen ihn auch in dunkelgefärbtem Harn angetroffen haben.

Choletelin: C 55,45; H 5,3 etc. nennt R. MALY das letzte Oxydationsprodukt des Bilirubins.

Harnfarbstoffe. Es sind verschiedene theils eisenfreie, theils eisenhaltige dargestellt worden. Wohl charakterisirt ist das Hydrobilirubin: C 64,68; H 6,93 etc. SCHERER und JAFFÉ stellten aus dem Harn einen Farbstoff dar, das Urobilin (JAFFÉ), dessen Zusammenhang mit den Gallenfarbstoffen und damit seine Ableitung aus dem Blutfarbstoff namentlich durch R. MALY festgestellt wurde. HOPPE-SEYLER stellte diesen Farbstoff ausserhalb des Organismus durch Behandlung einer alkoholischen Lösung von Hämatin mit Zinn und Salzsäure, d. h. durch Reduction, dar. Er ist also ein durch Reduction verändertes Spaltungsprodukt des Blutfarbestoffs. Das Urobilin ist identisch mit dem im Koth vorkommenden Farbstoff Stercobilin (VANLAIR und MASIUS). Es geht durch Reduction aus Bilirubin (und Biliverdin) hervor (R. MALY) und entsteht so z. B. durch Einwirkung des im Darm nascirenden Wasserstoffs auch im Organismus.

Indican, $C_{26}H_{31}NO_{17}$. Kommt im normalen Harn in geringer, im pathologischen Harn in grösserer Menge vor, namentlich bei Leberkrebs, reichlich auch im Hundeharn, ertheilt dem Harn eine intensiv gelbe Farbe. Nachweis: Indicanreicher Harn, mit Salzsäure gekocht, lässt sofort einen feinpulverigen Niederschlag erkennen. 2) Von indicanarmem Harn mischt man 20—40 Tropfen in einer Proberöhre mit stark rauchender Salzsäure, die Mischung färbt sich rothviolett bis blau. Durch Zusatz von 2—3 Tropfen Salpetersäure wird die Empfindlichkeit der Reaktion gesteigert (v. GORUP-BESANEZ), am sichersten ist die Reindarstellung. — Das Indican stört den Nachweis der Gallenfarbstoffe im Harn. In faulendem Harn geht es von selbst in Indigoblau über: C_8H_5NO, dunkelblaues amorphes Pulver.

Urocyanin (Uroglaucin, Harnblau) ist höchst wahrscheinlich unreines Indigoblau, Urrhodin ist wohl das noch wenig studirte Indigoroth (v. GORUP-BESANEZ).

Das Urohämatin (HARLEY) ist eine hochrothe, glänzende, amorphe Substanz, die durch ihren Eisengehalt und einige Reaktionen Aehnlichkeit mit dem Hämatin zeigt, wobei aber an die bisher noch geringe chemische Charakterisirung des Hämatins selbst erinnert werden muss.

Indol wurde von KÜHNE und RADZIJEWSKY als Produkt der Pankreasverdauung (unter Mitwirkung der Fäulniss!) nachgewiesen. JAFFÉ und MASSON constatirten, dass sich das Indol im

Organismus in Indican umwandle. Das letztere entstehe sonach aus der Zersetzung der Eiweissstoffe durch Pankreaswirkung, welcher sich im Darme stets auf Spaltpilzen beruhende Fäulnisserscheinungen zugesellen sollten (?).

Eiterfarbstoffe. Es sind zwei mit Sicherheit aus blauem Eiter, der die Verbandstücke manchmal lebhaft blau färbt, dargestellt. Die Träger des Pigments im Eiter sind eine eigene Art von Vibrionen: Vibrio lineola EHRENB., welche auf eiternden Wunden und Verbandstücken vegetiren kann (LÜCKE), nach CHALVET sind es Pilze. Reines Pyocyanin erscheint in blauen mikroskopischen Nadeln und Blättchen. Löslich in Wasser, Alkohol, Chloroform, weniger in Aether. Mit Säuren färbt es sich roth, in Alkalien blau wie Lackmus. Durch reducirende Substanzen wird es entfärbt, auch durch unzersetzten Eiter, mit Luft geschüttelt wird es dann wieder blau. Darstellung und Nachweis: Die blauen Verbandstücke mit Wasser extrahirt, die Flüssigkeit mit Chloroform geschüttelt, was den Farbstoff — erst blau, dann grün werdend — aufnimmt. Zur abgegossenen Chloroformlösung wird etwas mit Schwefelsäure angesäuertes Wasser gesetzt, das den Farbstoff aufnimmt. Diese rothe vom Chloroform getrennte Flüssigkeit wird mit Barytwasser neutralisirt, erwärmt, bis die blaue Farbe wieder auftritt, wieder mit Chloroform geschüttelt, aus der blauen Chloroformlösung krystallisirt das Pyocyanin beim Verdunsten. — Neben dem Pyocyanin kommt noch im Eiter vor

Pyoxanthin, ein gelber Farbstoff, der aus der ersten Chloroformlösung durch etwas Aether (Schütteln) aufgenommen wird. Vielleicht kommt im Eiter auch Indigo vor.

Schweissfarbstoffe. Es sind rothe (blutiger Schweiss) und blaue nachgewiesen, über deren chemische Natur noch keine brauchbaren Angaben existiren. Der blaue Schweiss mag hier und da von Pyocyanin gefärbt sein. Bei Kupferarbeitern ist an Kupfersalze zu denken (als Wäscheverunreinigung?), BIZIO fand einmal Indican im Schweiss.

Hautpigmente = Melanin, schwarzes Pigment. Normal meist als Zelleninhalt in kleinen Körnchen, pathologisch in flachen rhombischen Krystalltafeln mit sehr spitzen Winkeln. Sehr wenig löslich, eisenhaltig. Im schwarzen Augenpigment fand LEHMANN 0,254% Eisen. Seine Formel ist nicht bekannt. Es kommt vor als Pigment der Choroidea, im MALPIGHI'schen Gewebe der Negerhaut und der Haut dunkelgefärbter Völker, sowie an dunkleren Hautstellen der Europäer, in den Haaren, in den Lungen, Bronchialdrüsen, als schwarzes Pigment melanotischer Geschwülste, als schwarzer sedimentirender Farbstoff im Harn, als Pigment der Dinte mancher Cephalopoden, in den Pigmentzellen der Amphibienhaut. Sein Eisengehalt stellt es nahe an das Hämatin, von dem man seine Abstammung herleitet.

Ueber zufällige Körperbestandtheile vergleiche man bei Harn und a. a. O.

Die chemischen Vorgänge zeigen in jeder Zelle eigenthümliche Verschiedenheiten.

Der Vorgang der Eiweisszersetzung sowie der Zersetzung der organischen Stoffe überhaupt ist in den verschiedenen Zellen ein verschiedener. Schon die primären Veränderungen, welche das Eiweiss in dem Inhalte der verschiedenen Zellen erfährt, sind verschiedener Natur, wie die Bildung des Caseïns, des Myosins etc. beweist, je nachdem das Eiweiss zu einem Bestandtheile einer Milchdrüse oder einer Muskelzelle wird. Auch die Umwandlungen, welche die Albuminate erleiden bei ihrer Verwendung zur Bildung der Zellmembranen und der Zellenzwischenmaterien, sind verschiedener Art, je nachdem sie in der einen oder anderen Zellengruppe vor sich gehen, wie die chemischen Verschiedenheiten des leimgebenden Stoffes, des Knorpel- und Hornstoffes, des elastischen Stoffes, des Mucins, die wir an getrennten Orten zu den angegebenen Zwecken benutzt finden, lehren.

Aehnlich verschieden verhalten sich in den anatomisch verschiedenen Zellen die weiteren Zersetzungsvorgänge, welche zu den einfachen Produkten der regressiven Metamorphose führen, welche den thierischen Organismus endlich verlassen.

Leider ist die zoochemische Analyse in ihren Resultaten noch zu wenig fortgeschritten, als dass man für alle Zellen und Zellenderivate schon den Zersetzungsmodus genau bezeichnen könnte, doch liefern jene wenigstens vorläufig den Beweis des aufgestellten Satzes von der quantitativen aber auch qualitativen Verschiedenheit in den Zellenvorgängen. Der endliche Erfolg ist dabei jedoch überall der gleiche, stets werden schliesslich Kohlensäure, Wasser und Ammoniakverbindungen gebildet, aber der Weg, welcher zu diesem endlichen Ziele führt, ist ein verschiedener, wie sich aus der Vergleichung der in den verschiedenen Organen (cf. diese) gefundenen Stoffe ergibt, welche jeder physiologisch verschiedenen Zellengruppe ihr specifisches, originelles Gepräge ertheilen. Auch nach dem Lebensalter zeigen die chemischen Processe in den Zellen wesentliche Differenzen. In den Organen der Embryonen finden wir z. B. Glycogen und Zucker in solchen Mengen, dass Cl. Bernard und Mariggia den Fötus einen wahren Diabetiker nennen konnten. Der Zucker ist in allen Zeiten des späteren Fötallebens in der Mehrzahl der Organe und im Urin, in der Galle, in der Peritonealhöhlenflüssigkeit nachzuweisen. Im Urin, in den Nieren, in Hirn, Pankreas, Speicheldrüsen der Erwachsenen und Neugeborenen fehlt der Zucker, in den anderen Organen und Säften ist er auch bei Erwachsenen stets nachzuweisen.

Der Lebensvorgang in den einzelnen thierischen Zellen ist zwar dem Principe nach der gleiche, überall beruht er im Grunde fast ausschliesslich auf Rückbildung unter Sauerstoffaufnahme; in jeder Zelle jedoch werden diese Vorgänge modificirt nach den Functionen, die in dem Haushalte des Thierorganismus von ihr gefordert werden. Die Stoffzersetzung in dem Muskelgewebe, das den mechanischen Kraftleistungen vorzustehen hat, ist ein verschiedener Vorgang und führt primär zu anderen Produkten als die chemische Thätigkeit in den Leberzellen oder den Zellen der Magen- und Darmdrüsen, welche zu bestimmten chemischen Umgestaltungen von Stoffen verwendet werden zum Zwecke, diese für den thierischen Organismus als Nahrungsflüssigkeit brauchbar zu machen. Als Beispiel diene für das Gesagte die Entstehung von Fleischmilchsäure im thätigen Muskel, von Salzsäure in der thätigen Magensaftdrüse. So wahr diese Sätze sind, so darf man doch nicht vergessen, dass, wie die Entwickelungsgeschichte lehrt, der Entwickelungsausgang für alle Zellen ein gemeinsamer ist, und dass, neben den Verschiedenheiten im Einzelnen, im Ganzen zwischen allen Zellen eine gewisse Gemeinsamkeit der stofflichen und physikalischen Lebensbedingungen existirt. Die Differenzen sind vielfach vorwiegend quantitativer Natur.

Functionen der anorganischen Zellenstoffe.

Wir haben schon im Allgemeinen die Wichtigkeit der sogenannten Aschenbestandtheile des thierischen und pflanzlichen Körpers betont. In der Pflanze dienen sie theils dazu, den Pflanzenorganen als sogenanntes Skelet eine grössere

Festigkeit zu ertheilen, und sind somit schon von diesem Gesichtspunkte aus von grosser Bedeutung für das Pflanzenleben: noch wichtiger sind aber jene, z. B. die Kaliumsalze, die man in einer bestimmten Beziehung zur Erzeugung der organischen Stoffe erkannt hat. Es steht nach den besten Untersuchungen die Menge des in den Getreidesamen sich bildenden Eiweisses in einem geraden Verhältnisse zu den phosphorsauren Salzen, die der Pflanze als Nahrungsmittel zu Gebote stehen. Ein ähnliches Verhältniss scheint zwischen der Bildung der Pflanzensäuren und den Alkalien zu bestehen, ohne Kaliumsalze ist kein Wachsthum möglich. Ohne Wasser und Sauerstoff ist die Entstehung und Erhaltung alles organischen Lebens vollkommen undenkbar.

In der thierischen Zelle finden wir die organischen Stoffe ebenso wie in der Pflanzenzelle mit jenen anorganischen Stoffen gemengt oder chemisch verbunden. Auch hier scheinen sie den beiden oben angedeuteten Zwecken zu dienen. Zur Verleihung einer grösseren Festigkeit der Gewebe finden sich im thierischen Organismus vor allem die Verbindungen der Kalkerde mit Phosphorsäure und Kohlensäure verwendet. Die Festigkeit der Knochen und des verknöcherten Bindegewebes beruht auf einer Einlagerung in ihre Zwischenzellenmassen vornehmlich von phosphorsaurem und kohlensaurem Kalk. Die Kaliumsalze scheinen für die Fleischbildung der animalen Organismen bei der Ernährung von grösster Bedeutung.

Sicher sind die verschiedenen anorganischen Bestandtheile, welche sich im Zelleninhalte gelöst befinden, die Hauptursache der Verschiedenheit der Oxydationsvorgänge in den verschiedenen Zellen. Das Vorwiegen der Phosphorsäure in dem Muskelgewebe und in der Nervensubstanz wird Veranlassung der dort so leicht entstehenden sauren Reaktion, das Vorwiegen der kohlensauren Alkalien in den Säften des Blutes, der Lymphe gibt diesen ihre Alkalinität. Es ist selbstverständlich, dass in sauren oder alkalischen Flüssigkeiten chemische Vorgänge sich wesentlich verschieden gestalten müssen, auch wenn in beiden die constituirenden Stoffe vollkommen die gleichen wären.

So wird uns schon durch diese Betrachtung der Werth der anorganischen Stoffe für die Zellenvorgänge verständlich, noch mehr werden wir in ihre Bedeutung in den Besprechungen des folgenden Capitels über Diffusionserscheinungen eingeführt werden. Die speciellen Auseinandersetzungen finden sich bei der Lehre von den Nahrungsstoffen, sowie bei den einzelnen Organen und Flüssigkeiten, vor allem bei dem Harn.

Im Einzelnen ist uns in Beziehung auf die Aschenbestandtheile noch sehr Vieles unklar. Wir stehen vor einem Räthsel, wenn wir sehen, dass die Vertheilung der anorganischen Stoffe nach den verschiedenen Zellengruppen eine Verschiedenheit erkennen lässt. Wir fragen vorläufig umsonst nach dem Grunde, der in der Flüssigkeit des Blutes die Natriumsalze, in den geformten Blutbestandtheilen oder im Muskel etc. die Kaliumsalze vorwiegen lässt. Dass es für die Chemie der Zellen, in denen sie sich finden, von höchster Wichtigkeit ist, ob sie Kali oder Natron, vorwiegend phosphorsaure oder kohlensaure Salze enthalten, steht fest und wird uns noch weiter klar werden; woher ihnen aber die Fähigkeit der Aneignung der für ihre Zusammensetzung nöthigen anorganischen Stoffe ertheilt wird, ist ein Problem, für dessen Lösung wir heute nur spärliche Andeutungen zu geben vermögen (cf. Hydrodiffusion, Lösung und Endosmose).

Die anorganischen Bestandtheile scheinen theilweise mit den organischen Stoffen in chemische Verbindung zu treten, in welcher Weise, ist fürs erste noch wenig erforscht.

Nach v. Gorup-Besanez' Zusammenstellung sind folgende anorganische Bestandtheile in thierischen Organismen physiologisch enthalten:

I. Wasser.

II. Gase: Sauerstoffgas, Wasserstoffgas, Stickstoffgas, Kohlensäuregas, Sumpfgas, Schwefelwasserstoffgas.

III. Salze: Chlornatrium, Chlorkalium, Chlorammonium, Fluorcalcium, kohlensaures Natron, kohlensaures Kali, kohlensaures Ammoniak, kohlensaurer Kalk, kohlensaure Bittererde, phosphorsaures Natron, phosphorsaures Kali, phosphorsaurer Kalk, phosphorsaure Bittererde, phosphorsaure Ammoniak-Bittererde, phosphorsaures Natron-Ammoniak, phosphorsaures Eisen (das Eisen auch noch in anderen unbekannten Verbindungen), salpetersaures Ammoniak, salpetrigsaures Ammoniak, schwefelsaure Alkalien, schwefelsaurer Kalk.

IV. Freie Säuren: Chlorwasserstoffsäure (Schwefelsäure), Kieselsäure.

Mikrochemie und chemische Lebensthätigkeiten der Zellen und des Eies.

Im Allgemeinen gehen aus dem Vorstehenden die Hauptgesetze der chemischen Stoffmetamorphose in den animalen Zellen hervor, doch sind wir noch weit entfernt, über die Vorgänge im Einzelnen uns genügende Rechenschaft geben zu können. An die Beobachtungen, auf die wir bisher fussten, reihen sich noch mikrochemische Untersuchungsresultate an, die uns einen Einblick in die Stoffvertheilung und Stoffwandlung in den Einzelzellen der verschiedenen Gewebe gewähren.

Wir sehen die Lebenserscheinungen der Zellen an das Vorhandensein und die Thätigkeit des Protoplasmas geknüpft, es ist dieses, wenn wir uns der Ausdrucksweise Kölliker's bedienen wollen, »der vorzugsweise lebende Stoff der Zellen«, an ihm läuft der Stoffwechsel der Zellen hauptsächlich ab, die Bildung der übrigen Zellenstoffe hat in ihm seinen Ausgangspunkt, ein Theil derselben sind nur als Ausscheidungen, Differenzirungen desselben zu betrachten, die Ernährungsvorgänge der Zellen haben einen Hauptzweck in der Bildung neuen Protoplasmas. Ueber die Verschiedenheit des Protoplasmas in den einzelnen Zellen wissen wir noch wenig. Der Hauptbestandtheil des Protoplasmas aller Zellen scheinen im Wasser gequollene Albuminate, nach Hoppe-Seyler wenigstens zwei Globuline: Myosin und Vitellin, oder noch höher zusammengesetzte Stoffe zu sein, welche wie das Hämoglobin durch ihre Zersetzung Albuminate liefern, daneben finden sich constant im Protoplasma entwickelungsfähige und sich entwickelnde Zellen und andere für die Zellenchemie wichtige Stoffe: Lecithin, Cholesterin, Glycogen (Kohlehydrate), Kaliumverbindungen. Weniger constant sind Fetttröpfchen und andere körnige z. Thl. gefärbte Einschlüsse. Das Wasser des Protoplasmas ist verschieden fest an die Protoplasmastoffe gebunden (cf. unten Molecularstructur lebender Gewebe). Es durchtränkt z. Thl. als Zellsaft das gequollene Protoplasma als eine wahre Eiweiss-Lösung.

Mit Recht kann man die chemischen Vorgänge in den animalen Zellen ebenso mit dem Protoplasma in ursächliche Verbindung bringen, wie wir sie in

den Pflanzenzellen unzweifelhaft an die Anwesenheit des Protoplasmas und seiner Produkte z. B. Chlorophyllkörper geknüpft sehen.

Wir sehen die Lebensthätigkeiten der Organe mit der Bildung organischer Säuren, z. B. Fleischmilchsäure verlaufen, deren Entstehen um so reichlicher stattfindet, je lebhafter die Thätigkeit der Organe ist. So sehen wir die neutrale oder schwach alkalische Reaktion des Muskel- und Nervengewebes durch angestrengte Thätigkeit in eine saure Reaktion umschlagen. Diese chemische Umwandlung des Zelleninhaltes geht, wie es scheint, meist von dem Zellkern aus, der in der lebenden Zelle fortwährend eine saure Reaktion erkennen lässt (Beale, Kölliker, J. Ranke), im Gegensatz zu seinen alkalischen Umgebungen. Diese saure Reaktion kennzeichnet sich in der Eigenschaft des Kernes, sich in neutraler Lösung von carminsaurem Ammoniak rasch und bleibend roth zu färben (Gerlach) durch Fixirung von Carminsäure. Die Säurebildung findet sonach, offenbar unter besonders starker Einwirkung des in die Zelle aufgenommenen Sauerstoffs, beständig im Zellenkerne statt, bei der gesteigerten Thätigkeit (und dem Absterben) der Zelle wird diese Säurebildung so mächtig, dass sich saure Reaktion in der Gesammtzelle und ihrer Umgebung geltend macht, die sonst von den alkalischen umspülenden Gewebs- und Zellensäften neutralisirt wird.

Der Stoffwechsel des Protoplasmas ist nach dem Vorstehenden mit der Bildung einer organischen Säure (z. B. Fleischmilchsäure) verknüpft, die höchstwahrscheinlich selbst wieder als das Zersetzungsprodukt einer höher zusammengesetzten Verbindung, z. B. eines Kohlehydrates, einer Zuckerart angesprochen werden darf. Es ist nicht ganz unwahrscheinlich, dass diese fraglichen Fleischmilchsäure liefernden Stoffe wenigstens zum Theil Zersetzungsprodukte der Albuminate sind. Vielleicht haben wir hier das eine Produkt der Spaltung der Albuminate, die (Liebig) einen oder mehrere stickstofffreie und einen oder mehrere stickstoffhaltige Stoffe liefern soll. Kölliker ist es gelungen, auch das Entstehen eines Stoffes der zweiten Gruppe, der stickstoffhaltigen Körper, welche mit dem Harnstoff in mehr oder weniger naher Verwandtschaft stehen, aus dem eiweissreichen Protoplasma sicher nachzuweisen, was bisher bei Muskeln und Nerven noch nicht mit der genügenden Sicherheit möglich war. Das eiweissreiche Protoplasma der Zellen der Leuchtorgane von Lampyris unterliegt zeitweilig einer so lebhaften Sauerstoffeinwirkung, dass dabei Lichtentwickelung entsteht. Kölliker konnte mikroskopisch nachweisen, dass dabei harnsaures Ammoniak gebildet wird, eine Entdeckung, die theoretisch vom grössten Werthe ist.

Die Zellen der animalen Organismen enthalten wie die Pflanzenzellen entweder mehr oder weniger gleichmässiges Protoplasma, oder es zeigen sich Flüssigkeiten, Zellsaft, aus diesem ausgeschieden. Kölliker nennt die ersteren Zellen, zwischen denen und den folgenden viele Uebergänge existiren, monoplasmatische im Gegensatz zu der zweiten Art, den diplasmatischen Zellen. Die animalen Zellen gehören in der Jugend und während ihres normalen Lebens der überwiegenden Mehrzahl nach der ersten Gruppe an. Deutlich diplasmatisch sind die Fettzellen, bei denen das Protoplasma auf ein geringes Minimum um den Kern reducirt sein kann, während der übrige Zellenraum von flüssigem Fett erfüllt ist. Dasselbe ist bei den Leberzellen bei reich-

lichem Fettgehalt der Nahrung, z. B. bei säugenden Thieren der Fall. Auch die Abscheidung fester Substanzen aus dem Protoplasma reiht die Zellen, in denen das stattfindet, an die diplasmatischen an. So finden sich Pigmentkörner, die Eiweissblättchen (Vitellin) im Dotter, Körner von harnsauren Salzen und Kalksalzen in den Zellen niederer Thiere. Bei den Zellen der Drüsen scheint sich, wenn nicht der ganze Zellinhalt in Sekret umgewandelt und damit die Zelle zerstört wird, meist ein Theil der Zelle, ihr Protoplasma, zu erhalten und seine Verluste neu zu ergänzen, während daneben beständig Stoffe aus dem Protoplasma abgeschieden werden, die als Drüsenzellensekrete die Zelle verlassen (cf. Verdauungsdrüsen). Am deutlichsten ist dieser Vorgang der Abscheidung der Zellensekrete aus dem Protoplasma bei einzelligen Drüsen (cf. S. 38), die neben dem Hohlraum, der die Ausscheidungen aufnimmt, welche durch den Ausführungsgang der Drüsenzelle entfernt werden, noch eine mehr oder weniger reichliche Protoplasmamenge bewahren.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass auch die von Protoplasma ausgeschiedenen Stoffe, z. B. die Zellsäfte und Zellmembranen einen fortgesetzten Stoffwechsel und Erneuerung ihrer Bestandtheile erleiden. Für den Wechsel des Zellsaftes macht Kölliker als auf eines der hierfür belehrendsten Beispiele auf die schon angeführten fetthaltigen Zellen, z. B. aus der Leber säugender Thiere, und die eigentlichen Fettzellen aufmerksam, aus denen das zeitweise massenhaft angehäufte Fett ganz verschwinden kann. Auch die Zellmembranen und -Kapseln unterliegen dem Stoffumsatz, wie man z. B. aus der obenerwähnten, an die Bildung der Tüpfelzellen bei Pflanzen erinnernden Usur der Kapseln der Knorpelzellen bei Rachitis abnehmen kann.

Der diplasmatische Zustand der Zellen, z. B. der Drüsenzellen, ist als Vorläufer der Zellenausscheidung, wie schon angedeutet, aufzufassen; es finden sich aber auch bei Zellen lebhafte Abscheidungen aus der Zelle, wenn sie auch keine Sonderung des Zelleninhaltes in Protoplasma und Zellsaft erkennen lassen. Die Abscheidungen sind theils fester, theils flüssiger Art. Zu den festen Abscheidungen rechnet Kölliker die Zellmembranen mit Intercellularsubstanzen, die vor allem bei dem Bindegewebe mächtig entwickelt vorkommen und neuerdings meist als umgewandeltes Protoplasma gedeutet werden (S. 28 ff.), und die Cuticularbildungen. Die Stoffe, welche diese festen Zellenabscheidungen bilden, hat die Zelle nicht von aussen direct bezogen, da sie in den Ernährungsflüssigkeiten nicht enthalten sind. Schleim, leimgebende, chondringebende, elastische Substanz, bei den Tunicaten die Cellulose, sind aus dem Nährmaterial durch die specifische Zellenthätigkeit aus dem Protoplasma erzeugt. Die primären animalen Zellmembranen stimmen in ihren Eigenschaften nur theilweise mit der elastischen Substanz überein; ihr Bildungsstoff steht den Eiweisskörpern noch sehr nahe, deren mikrochemische Reaktionen sie geben, sie werden aber durch Magensaft und verdünnte Säuren nur wenig angegriffen, sodass man sie durch diese Einwirkungen von den Albuminaten trennen kann. Viele Zellen scheiden flüssige Zwischenmaterie, Zwischenzellenflüssigkeiten, aus, hier haben wir an die Blut-, Lymph- und Chylusflüssigkeiten, aber auch an die Drüsensäfte und Parenchymsäfte zu denken, die auf Rechnung von Zellenthätigkeit zu setzen sind. Diese Abscheidung von Flüssigkeiten zeigt insofern eine Verschiedenheit, als einige

Zellen Stoffe ausscheiden, die ihnen vom Blut zugeführt wurden, wie z. B. die Nierenzellen, andere Zellen aber analog den genannten festen Abscheidungen Stoffe abgeben, die sie durch ihre specifische Lebensthätigkeit in sich gebildet haben, wie die Zellen der Leber, der Magensaftdrüsen.

Die ganze Zelle unterliegt mit allen ihren Organen und Bestandtheilen dem Stoffumsatz.

Der Stoffumsatz in den Zellen ist an eine Aufnahme von Sauerstoff gebunden, ein Vorgang, den man im Allgemeinen als Zellenrespiration bezeichnen kann. Was von den Geweben bekannt ist, dass sie dem Blute und unter anormalen Bedingungen der Luft Sauerstoff zur Unterhaltung ihrer Thätigkeit entziehen und theils sogleich verwenden, theils zur Verwendung in sich in irgend einer Weise aufspeichern, um von diesem Vorrath zu zehren, das zeigen auch die einzelnen Zellen. Einzellige Thiere und Pflanzen respiriren: bei Thieren, die durch Tracheen (cf. Athmungsorgane) athmen, verzweigen sich diese Luftcanäle nicht nur an den Zellen, sondern dringen sogar in diese ein, wie in die Zellen der Spinnorgane der Raupen und in die Muskelzellen (Kölliker).

Offenbar steht der Stoffwechsel in den Zellen auch unter Nerveneinfluss. Wir sehen ihn dadurch zeitweilig enorm gesteigert werden, wie in dem thätigen Muskel- und Nervengewebe oder in den Leuchtorganen der Lampyris, in den Drüsenzellen des Verdauungsapparates etc. Wie wir uns diesen Nerveneinfluss zu denken haben, ist noch nicht sicher festgestellt, electrische Vorgänge und reichlicheres Zuströmen von Ernährungsflüssigkeiten spielen hier eine Rolle.

Man betrachtet, wie aus der Darstellung der Formverhältnisse der Zellen hervorging, **die Eizelle** gewöhnlich als den Typus der Zellen, da sich alle folgenden aus ihr entwickeln. Die Eier oder deren Dotter, welche eine grössere, zur genaueren chemischen Analyse ausreichende Masse darbieten, bestehen jedoch der Hauptmasse nach nicht aus der eigentlichen Eizelle, sondern aus dem sogenannten Nahrungsdotter, der zwar das Material für den sich ausbildenden Organismus liefert, der aber doch nicht direct mit dem Protoplasma identificirt werden darf. Immerhin haben wir es mit dem ersten Nahrungsstoff zu thun, aus dem die animale Zelle ihre Bestandtheile bildet, und zwar zu einer Zeit, in der das specifische Zellenleben sich erst auszubilden beginnt, in der sonach die den Zellen gelieferte Nahrung möglichst schon die Zusammensetzung der Zelle selbst besitzen wird. Von diesem Gesichtspunkt aus ist die Physiologie der Eier der Vögel, Amphibien und Fische, die eine nähere Untersuchung erfahren haben, von Wichtigkeit für die Lehre von dem Einzelleben der Zelle. Leider sind die Resultate auch bei ihnen noch wenig genügend.

Im Eidotter sind mit Sicherheit folgende Stoffe nachgewiesen: Eiweissstoffe, vorwiegend Vitellin, Fette (Olein und Palmitin), Lecithin, Nuclein, ein gelbes und ein rothes eisenhaltiges Pigment (cf. Retinalpigment), Traubenzucker, Cholesterin und Salze, unter diesen Kalk- und Kalisalze, aber auch (mehr) Natronsalze und Phosphorsäure. Die Zusammensetzung entspricht also etwa der des Protoplasmas, wie wir sie oben zu geben versucht haben. Das sogenannte Eierweiss, welches die Dotter der Vogeleier umhüllt, besteht ausser reichlich Wasser vorzüglich aus Albuminaten und zwar hauptsächlich in Salzen

gelöstes Albumin, wenig Kalialbuminat und nur Spuren von Globulin, ausserdem ziemlich viel Traubenzucker (8% der festen Stoffe) und Asche (3% der festen Stoffe), die reich an Chlor und arm an Phosphorsäure ist, aber überwiegend Kalisalze enthält, daneben Natron, Kalk, Magnesia, Eisenoxyd, Kieselerde, welche bei der Bildung der Federn Verwendung findet.

Zur Entwickelung bedarf das Ei der Zufuhr von Wärme und Sauerstoff, es zeigt eine vollständige animale Respiration. In dem stumpfen Ende des Hühnereies befindet sich ein mit Luft gefüllter Raum, in welchem nach Bischoff im Mittel 23,5 Volumenprocente Sauerstoff sich finden, also mehr als in der atmosphärischen Luft, welche in 100 nur 20 Volumina Sauerstoff = 23 Gewichtsprocente besitzt. Diese Luft wird als Athemreserveluft angesehen. Ausserdem muss dem sich entwickelnden Ei beständig Sauerstoff zugeführt werden, für welchen es Kohlensäure und Wasser ausscheidet. Nach den Beobachtungen Baumgärtner's, der Hühnereier in einem Apparat künstlich ausbrütete, in dem er die aufgenommene Sauerstoffmenge und die abgegebene Kohlensäure und das Wasser bestimmen konnte, verloren die Eier in 20 Tagen bis zum Ausschlüpfen des Hühnchens 26,82% an Gewicht unter Aufnahme von 6,29% Sauerstoff und Abgabe von 8,412% Kohlensäure und 24,69% Wasser. Das Volum des eingeathmeten Sauerstoffs ist stets etwas grösser als das der exspirirten Kohlensäure, da der Sauerstoff nicht nur zur Bildung der Kohlensäure und eines kleinen Theils des Wassers, sondern zur Bildung auch anderer Stoffwechselprodukte verwendet wird, die das Ei nicht verlassen. Die weiteren Stoffwechselvorgänge im Ei sind im Einzelnen noch sehr wenig bekannt. Im Allgemeinen entsprechen sie den für die animalen Zellen bisher erkannten Gesetzmässigkeiten.

Wenn wir auch nicht verkennen dürfen, dass uns die Wissenschaft schon jetzt die allgemeinen Principien für die Beurtheilung der chemischen Vorgänge in den Zellen der Pflanzen und Thiere geliefert hat, so bleibt doch in Beziehung auf die einzelnen Akte der Zellenthätigkeit der Forschung noch eine grosse Aufgabe zu lösen, die um so wichtiger ist, da nicht nur die Formbildung, sondern auch die Kräfteerzeugung in den Zellen und durch die Zellen von der Thätigkeit des Zellenchemismus bedingt werden.

F. C. Calvert machte Versuche über die Frischerhaltung der Hühnereier unter Einwirkung verschiedener Gase. Er constatirte, dass sie sich gar nicht verändern, wenn sie bei ganzer oder verletzter Schale unter Kohlensäure aufbewahrt wurden. Auch im trockenen Sauerstoff verhält sich das Ei bei unverletzter Schale Monate lang chemisch unverändert. In anderen Gasen schimmeln die Eier zunächst auf der Oberfläche.

Die Eier der Fische und Amphibien. In dem Dotter der unreifen Eier der Schildkröten, der Batrachier und Knochenfische finden sich krystallähnliche Blättchen: Dotterblättchen von wechselnder Gestalt und Zusammensetzung, nach Radlkofer wahre doppeltbrechende Krystalle (cf. folgendes Capitel). Sie zeigen weder vollkommen das mikrochemische Verhalten des Eiweisses, noch das der Fette (Virchow), sie enthalten nach Valenciennes und Frémy so viel Phosphor, dass es wahrscheinlich erscheint, dass dieselben aus einer Verbindung von Vitellin mit Lecithin bestehen (Paravitellin nach Gobley); man bezeichnete diese Stoffe bisher als: Ichtin, Ichtidin, Ichtulin, Emydin, scheint aber bei der Untersuchung stets unreine Substanzen vor sich gehabt zu haben. Diese farblosen und starkglänzenden Krystalle oder Krystalloide zeigen in den Eiern einzelner Species constante Formen. Bei Raja clavata sind es rechtwinkelige Tafeln, bei Squalus galeus sind sie hexagonal, bei Rana quadratisch,

elliptisch oder kreisrund bei Torpedo marmorata. Nach GOBLEY's Untersuchungen zeigen chemisch die Karpfeneier und das Eigelb der Hühnereier eine gewisse Uebereinstimmung (v. GORUP-BESANEZ).

	Hühnerei in %	Karpfenei in %
Wasser	51,486	64,080
Feste Stoffe	48,514	35,920
Vitellin resp. Paravitellin	15,760	14,060
Palmitin und Olein	21,304	2,574
Cholesterin	0,438	0,266
Phosphorhaltige Fette	8,426	—
Lecithin	—	3,045
Cerebrin	0,300	0,205
Extraktivstoffe	0,400	0,389
Pigmente	0,553	0,033
Chlorammonium	0,034	0,042
Chlornatrium und Chlorkalium	0,277 (zusammen)	0,447
Schwefelsaures und phosphorsaures Kali		0,037
Phosphorsaure Erden	1,022	0,292
Membransubstanz	—	14,530

Eier der Schlangen. HILGER fand in dem Eidotter der Ringelnatter: Vitellin, Lecithin, Cholesterin, Eieralbumin, Alkalialbuminat und 8—9% Fett. Die Schale enthielt einen dem Elastin ähnlichen organischen Körper, kohlensauren, phosphorsauren und wenig schwefelsauren Kalk und Spuren von Eisen und Kieselsäure (?).

Drittes Capitel.

Die Physik der Zelle.

Vom Gesetz der Erhaltung der Kraft.

Die Elementarstoffe, an welchen das animale und pflanzliche Leben zur Erscheinung kommt, sind von den Stoffen der anorganischen Natur nicht verschieden; die gleichen Elementarbestandtheile bilden Luft und Boden und gehen in die Zusammensetzung der lebenden Organismen ein.

In unseren vorausgehenden Betrachtungen lernten wir den Kreislauf der Materie kennen, in welchem aus den anorganischen Stoffen Stoffe organischer Art gebildet und diese wieder zurück verwandelt werden in chemische Verbindungen, die den Charakter des anorganischen an sich tragen.

Dadurch, dass chemische Elementarstoffe in chemische Verbindungen irgend welcher Art eintreten, verlieren sie selbst Nichts an ihren chemischen Eigenschaften. Es wird durch die chemischen Verbindungen der Elemente unter einander, wodurch Stoffe mit ganz neuen Eigenthümlichkeiten entstehen, an ihnen Nichts geändert. Durch die chemische Verbindung geht keine der Eigenschaften der vereinigten Stoffe absolut verloren. Man kann aus allen, auch aus den am complicirtesten zusammengesetzten chemischen Körpern die constituirenden einfachen Stoffe vollkommen nach Form, Gewicht und Kräften wieder erhalten, wie sie zur Bildung des betreffenden Körpers zusammengetreten sind.

Auch dann, wenn ein chemischer Stoff Bestandtheil eines lebenden Organismus geworden ist, verliert er Nichts an seinen ihm in anorganischem Zustande zugehörenden Eigenschaften.

Wir finden in den chemischen Vorgängen im Organismus das gleiche Spiel der chemischen Affinitäten und wechselseitigen Anziehung und Abstossung wie es sich in den anorganisch-chemischen Vorgängen zeigt. Die Salzbildung aus Säuren und basischen Körpern findet sich in den Flüssigkeiten der Zellen ebenso wie ausserhalb derselben; keines der Elemente verliert seine Fähigkeit, sich mit Sauerstoff zu vereinigen; die Vereinigungsprodukte der Elemente mit Sauerstoff sind schliesslich die gleichen, welche sich auch in der anorganischen Natur als Verbrennungsprodukte der gleichen Elementarstoffe bilden. Der Kohlenstoff der chemischen Verbindungen des Organismus wird in diesem schliesslich zu Kohlensäure, wie ausserhalb desselben: der Wasserstoff bildet

in beiden Fällen bei seiner Verbindung mit Sauerstoff Wasser. Der Lebensprocess selbst ist ein Scheidekünstler, welcher aus den organischen Stoffen die sie constituirenden Bestandtheile wieder zu gewinnen versteht, zum Beweise des Satzes, dass nirgends in der Natur Etwas, auch nur ein Atom von den vorhandenen Elementarstoffen verschwindet oder neu gebildet wird. Die Materie trägt für den Naturforscher den Charakter der unvergänglichen Beständigkeit. Ueberall wo das Auge des Menschen ein Neuentstehen von Stoff, ein Vergehen desselben zu erblicken meint, lehrt uns die Naturwissenschaft nur einen Wechsel der Form, Wechsel der chemischen Mischung der Materie kennen. Sie zeigt uns, wie aus luftförmigen, unsichtbaren Stoffen sich feste, sichtbare und greifbare Körper zusammensetzen können, die nach kürzerer oder längerer Zeit des Bestehens wieder zu vergehen scheinen, indem ihre Bestandtheile wieder die physikalischen Charaktere der Luft annehmen, die sie vor der Bildung des festen Körpers besessen haben.

Das eben vorgetragene naturwissenschaftliche Grundgesetz wird das Gesetz von der Erhaltung des Stoffes genannt. Mit seiner Erkenntniss wurde die Chemie eine Wissenschaft.

Wie die Chemie eine Erhaltung des Stoffes lehrt, so basirt die neuere Physik auf dem analogen Gesetz von der Erhaltung der Kraft.

Auch die physikalischen Kräfte, welche wir in der Natur thätig sehen, wie Wärme, Electricität, mechanische Bewegung entstehen weder aus Nichts und von ihnen geht Nichts verloren. Ueberall wo wir scheinbar eine Kraft verschwinden sehen, verwandelt sie sich in Wahrheit nur in eine neue Kräfteform, und wir können keine Bewegung herstellen, der nicht ein gleichzeitiges Erlöschen einer anderen Bewegung entspricht. Wir sehen z. B. Wärme in Electricität, Electricität in mechanische Bewegung, mechanische Bewegung in Wärme übergehen. Wir sehen diese Kräfte entstehen aus einem Kraftvorrath, aus Spannkraft, die in den Körpern gleichsam ruhend aufgespeichert sein kann. Rückwärts sehen wir aus anderen Kräfteformen wieder Spannkraft gebildet. Wir sind im Stande, die genannten Kräfte willkürlich die eine in die andere zu verwandeln. So beständig wie die Materie selbst, sind auch die an ihr wirksamen Kräfte. Wie nirgends ein Elementarstoff entsteht oder vergeht, ebenso wenig entsteht eine Kraft aus Nichts oder geht in das Nichts zurück. Alle Kräfte, denen wir in der Natur begegnen, sind nur Umwandlungsprodukte der einen grossen, mechanischen Kraft, welche das ganze Weltall in Bewegung erhält.

Die Bewegungserscheinungen, welche wir von den animalen Organismen ausgehen sehen, die ganze Kräfteentwickelung derselben scheint principiell von den Kräfteentwickelungen der anorganischen Welt verschieden zu sein.

Wo fänden sich passende Analogien in der anorganischen Natur mit den Bewegungsvorgängen in den Nerven? Das seelenvolle Spiel der Gesichtsmuskeln scheint Nichts mit der Mechanik unserer Instrumente gemeinsam zu haben.

Es war der grösste Fortschritt der Physiologie, als sie trotz des gegentheiligen Anscheines, für welchen noch das menschliche Selbstgefühl Partei nehmen zu müssen schien, erkannte, dass auch die Kräfte des thierischen und menschlichen Organismus von dem Gesetze der Erhaltung der Kraft keine Ausnahme machen. Wenn es der Forschung auch in manchen Einzelfällen noch nicht mit

voller Sicherheit gelungen ist, den Modus der Kräfteübertragung in den kraftproducirenden Organen zu erkennen, so steht doch als unumstössliche Thatsache für alle Zeiten fest, dass die mechanischen Kraftleistungen der Thiere und Menschen unter Umständen zu Stande kommen, unter denen solche auch in der anorganischen Natur auftreten. Die thierische Wärme, die mechanische Arbeit, die Electricitätsentwickelung, die Ortsbewegungen der Flüssigkeiten und Gase, alle Bewegungserscheinungen, die uns bisher im Organismus des Menschen und der Thiere bekannt geworden sind, gehen in ihnen im Grunde nach denselben Gesetzen vor sich, stammen absolut aus den gleichen Quellen, welche wir bei ihrem Auftreten und ihren Wirkungen an anorganischen Körpern nachweisen können. Die physikalischen Kräfte, welche in der anorganischen Welt wirksam sind, wirken in gleicher Weise auch an den in organische Verbindung eingegangenen Stoffen. Wir werden in folgenden Besprechungen Gelegenheit finden, die Wirkungen der Schwerkraft auf den Organismus und in ihm eingehend zu betrachten. Es wird sich zeigen, dass die Gesetze der Bewegung des Pendels, des Hebels ebenso wie in der technischen Mechanik auch hier ihr Recht behaupten. Wir werden die thierischen Functionen abhängig finden vom Luftdrucke, von dem Drucke der einzelnen die Atmosphäre constituirenden Gasarten. Der Austausch der Flüssigkeiten, der Uebergang von Lösungen aus einer Zelle in die andere geht im Allgemeinen in gleicher Weise vor sich, wie sich ausserhalb der Zelle die Stoffe mischen.

Der grösste Antheil der vom thierischen Organismus selbst producirten Kräfte zeigt sich als Wärme, Electricität und mechanische Bewegung. Sie stammen, wenn man von den specifischen Eigenthümlichkeiten dieses Vorganges in den Zellen, die in dem vorstehenden Capitel entwickelt wurden, absieht, aus einer Kräftequelle, welche auch von der praktischen Mechanik zur Kräfteerzeugung im ausgedehntesten Maasse benutzt wird: aus der O x y d a t i o n. Die genannten Kräfteformen werden frei dadurch, dass sich die Körperbestandtheile mit Sauerstoff verbinden.

Zu der Constitution der freien Elementarstoffe gehört neben den anderen Eigenschaften, die sie charakterisiren, auch ein bestimmter K r a f t v o r r a t h, eine Summe von S p a n n k r ä f t e n, welche unter Umständen in wirkliche A r b e i t s l e i s t u n g übergeführt werden kann. Die chemischen Verbindungen der Elementarstoffe unter einander lassen im Ganzen eine geringere Menge von Spannkräften an sich erkennen, als die einfachen, unverbundenen Elemente selbst. Es ist daraus klar, dass bei der Verbindung der Elemente unter einander, z. B. bei der Verbindung mit Sauerstoff zu Oxydationsprodukten, oder wenn sich Oxydationsprodukte — Säuren und Basen — mit einander vereinigten etc., die Elemente ihrer Spannkräfte zum Theil oder gänzlich verlustig gegangen sind. Nach dem Principe der Erhaltung der Kraft kann dieses Verlorengehen kein absolutes sein, und wirklich sind wir im Stande, die von den Elementarstoffen bei ihrer Vereinigung freigewordenen Spannkräfte als Bewegungen der Materie wieder aufzufinden: als Wärme, Licht, Electricität, mechanische Bewegung: Arbeit.

Was verstehen wir unter Spannkräften? Die Spannkräfte, der Kraftvorrath werden stets in die Körper hineingearbeitet, es muss eine bestimmte Summe von Kraft aufgewendet, verbraucht werden, um einem Körper eine bestimmte Menge

von Spannkräften zu ertheilen. Am einfachsten erscheint der Vorgang bei dem Heben eines Gewichtes (TYNDALL), dem wir durch das Heben Spannkraft ertheilen, die es bei dem Fallen — etwa als Uhrgewicht — wieder in Arbeit zu verwandeln vermag. So lange das Gewicht den Boden berührt, übt es einen gewissen Druck auf diesen aus, wir wissen, dass die Erde und das Gewicht gegenseitige Anziehungskraft besitzen, die Ursache jenes Drucks, der Schwere. So lange Erde und Gewicht sich berühren, ist ihre gegenseitige Anziehungskraft soviel als möglich befriedigt und es kann keine Bewegung zur gegenseitigen Annäherung mehr stattfinden, da in diesem Falle die wirkliche Berührung die Möglichkeit einer Bewegungserzeugung ausschliesst. Denken wir uns das Gewicht an eine Schnur befestigt, die über eine Rolle an der Decke des Zimmers läuft, an welcher wir es in die Höhe ziehen können. Dort verweilt es, wenn wir die Schnur irgendwie befestigen, vorläufig ebenso regungslos wie zuvor auf der Erde, allein indem wir einen Zwischenraum zwischen Erde und Gewicht gebracht haben, wurde diesem die Fähigkeit zur Erzeugung einer Bewegung verliehen. Das Gewicht kann fallen und während seines Herabfallens eine Maschine in Bewegung setzen oder andere Arbeit leisten. Durch das Heben von der Erde wurde dem Gewichte eine Arbeitsfähigkeit ertheilt, die wir als Kraftvorrath oder mit HELMHOLTZ als Quantität der Spannkräfte bezeichnen, sie rührt in dem speciellen Fall von dem Zug der Schwere, der gegenseitigen Anziehung des Gewichtes und der Erde her, welche aber noch nicht in Bewegung übergegangen ist. Lassen wir das Gewicht fallen, so wird es in jedem Augenblick durch die Schwere abwärts gezogen und seine gesammte Bewegungskraft ist die Summe aller dieser einzelnen Wirkungen. Während des Herabfallens wird der Arbeitsvorrath, den wir durch das Heben dem Gewichte ertheilt haben, wirksam, die mögliche Arbeit wird in wirkliche Arbeit umgesetzt. Hat das Gewicht den ersten Fuss seines Falles vollbracht, so ist die Zugkraft, die es gegen den Boden zieht, um die Quantität verringert, die nöthig ist, um den Fall durch einen Fuss zu bewirken. Sein Arbeitsvorrath ist um »einen Fuss« vermindert, allein das Gewicht besitzt nun eine äquivalente Quantität von wirksam gewordener oder lebendiger Kraft, welche, in entgegengesetzter Richtung angewendet, das Gewicht wieder auf seine ursprüngliche Höhe heben würde; wenn also Arbeitsvorrath verschwindet, tritt dafür lebendige Kraft als Arbeitsleistung auf. Die Summe dieser beiden Arbeitsgrössen bleibt sich durch das ganze Weltall gleich. Dieses Princip, nach welchem es, wie schon oben gesagt, ebenso unmöglich ist, Kraft oder Arbeit zu erschaffen oder zu vernichten, als Stoff zu erschaffen oder zu vernichten, ist das Gesetz von der Erhaltung der Kraft.

In dem Arm, der das Gewicht hebt, wurde eine entsprechende Quantität von Kraft in anderer Gestalt verbraucht; würde das Gewicht durch eine Dampfmaschine gehoben, so würde dabei eine der hiebei wirklich geleisteten Arbeit genau äquivalente Wärmemenge verschwinden, indem sich lebendige Kraft in Spannkraft umwandelt.

Die Wärme selbst ist eine Art von Bewegung (BAKO, DESCARTES), wie alle anderen lebendigen Kräfte auch. Die Wärmebewegung findet meist als Oscillation an den ponderablen, physikalischen Molekülen oder Atomen (und ihren Aetherhüllen) eines Körpers statt, »sie ist eine sehr lebhafte Bewegung

der kleinsten Theilchen eines Gegenstandes, welche in uns diejenige Empfindung hervorruft, wegen deren wir den Gegenstand als warm bezeichnen. Was in unserer Empfindung als Wärme erscheint, ist also am Gegenstand selbst eine Bewegung« (Locke bei Tyndall).

Die Wärme, die Bewegung der Moleküle (und ihrer Aetherhüllen), wird also in unserem Beispiel in Bewegung einer grösseren Masse, diese in Spannkraft umgewandelt, die wieder in Massenbewegung und z. B. durch unelastischen Stoss oder Reibung in Wärnre umgesetzt werden kann, welche, wenn wir Verlust ausschliessen, neuerdings im Stande wäre, die betreffende Masse auf die alte Höhe zu erheben.

Es ist für die Vorstellung von kaum grösserer Schwierigkeit, zwei Atome, die sich vermöge einer Anziehungskraft vereinigt haben, in Gedanken ebenso von einander zu trennen, wie wir Erde und Gewicht, die sich vermöge ihrer Anziehungskraft (Schwere) bis zur Berührung vereinigten, durch Aufwendung einer gewissen Kraftsumme, durch Erhebung des Gewichtes von einander scheiden konnten. Die Trennung der Atome wird ebenfalls eine bestimmte, von aussen einwirkende Kraftsumme verbrauchen, wie die Hebung des Gewichts. Die Attraktionskraft, welche zwei freie, durch irgend eine Kraft getrennte Atome, welche chemische Verwandtschaft gegen einander besitzen, zusammentreibt, ist zunächst in ihrer Wirkungsweise von der Schwerkraft nicht verschieden. Wie ein Meteorstein, der in das Attraktionsbereich der Erde hineingezogen wurde, auf diese herabstürzt, wobei Licht- und Wärmeerscheinungen der Heftigkeit des Falles entsprechend eintreten, so sehen wir sich gegenseitig anziehende Moleküle, wenn sie in ihre Wirkungssphäre, in unmerklich kleine Entfernung gelangt sind, mit der grössten Heftigkeit zusammenstürzen, um sich zu vereinigen. Die chemischen Kräfte, welche die Atome mit so grosser Heftigkeit gegen einander werfen, versetzen die Atome selbst in heftige Schwingungen, die sich der Umgebung mittheilen können (Wärmestrahlung, Wärmeleitung).

Indem zwei Atome, die sich durch chemische Anziehung vereinigten, von einander getrennt werden, wird eine bestimmte Menge Kraft aufgewendet, die den freien Atomen dann ebenso innewohnt als Kraftvorrath, als Spannkräfte, wie dem von der Erde gehobenen Gewicht. Durch das Zusammenstürzen der Atome, durch ihre Wiederverbindung werden diese Spannkräfte wieder in lebendige Kräfte: Wärme, Electricität, äussere Arbeit umgewandelt. Chemische und physikalische Spannkräfte sind also im Principe nicht von einander verschieden.

Das Gesetz der Erhaltung der Kraft lehrt, dass keine Kraft im Weltall verschwinden oder neu entstehen könne, dass die verschiedenen lebendigen Kräfte und Spannkräfte sich nur in einander umwandeln, die Summe aller Kräfte bleibt stets die gleiche. Was wir für die Summe aller Kräfte aussagen, gilt aber selbstverständlich nicht, wenn wir nur eine Kräfteform, z. B. die Wärme betrachten. Der Wärmevorrath des Weltalls nimmt ab, wenn Wärme in eine andere Form lebendiger Kraft, Electricität, Massenbewegung etc. übergeführt wird, oder wenn sie sich als Spannkraft, als Kraftvorrath, als Vorrath an geleisteter Arbeit anhäuft. Die Lehre von der Umwandlung der Kräfte in einander und zwar vor allem von der Umwandlung der Wärme in Arbeit und

umgekehrt im Sinne der technischen Mechanik, welche durch den Verbrauch von Wärme Lasten hebt, Massen bewegt, pflegt man als mechanische Wärmetheorie zu bezeichnen, die in diesem Sinne vor allem durch Clausius ihre Ausbildung erfahren hat. Die Begründer der Lehre von der Erhaltung der Kraft sind J. R. Mayer (Robert von Mayer), Helmholtz, Joule.

Der erste Grundsatz der mechanischen Wärmetheorie behauptet die Aequivalenz von Wärme und Arbeit, die sich aus dem allgemeinen Gesetz der Erhaltung der Kraft ergibt. Durch Aufwendung von Wärme kann mechanische Arbeit geleistet werden, durch Aufwendung von mechanischer Arbeit kann Wärme erzeugt werden; die erzeugte und verbrauchte Arbeit sind der verbrauchten und erzeugten Wärme proportional.

Um die Wärme zu messen, nimmt man meist als Einheit an die Wärmemenge, welche nöthig ist, um 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 1° Celsius zu erwärmen. Als Arbeitseinheit, diejenige Arbeit, welche erforderlich ist, um 1 Kilogramm auf 1 Meter Höhe zu heben; man nennt die Arbeitseinheit kurz 1 Kilogrammmeter, während man die definirte, als Maass benutzte Wärmemenge als 1 Wärmeeinheit bezeichnet.

Mit Anwendung dieser Grössen können wir nach dem Gesagten eine Zahl angeben, welche uns angibt, wie viel Arbeitseinheiten durch den Verbrauch einer Wärmeeinheit geleistet werden können, und umgekehrt, wie viele Arbeitseinheiten verbraucht werden, um eine Wärmeeinheit zu liefern. Diese Zahl, die experimentell festgestellt werden musste, wird das mechanische Aequivalent der Wärme genannt. Für die obigen Grössen beträgt es im Mittel: 430. Wenn wir andere Arbeitseinheiten zu Grunde legen, z. B. das Fusspfund (cf. unten S. 105) oder das Grammmeter, so wird die Zahl natürlich eine entsprechend andere. Wir sind nach diesen Ergebnissen im Stande, durch Verwendung von 1 Wärmeeinheit 430 Kilogramme 1 Meter hoch zu heben. Umgekehrt müsste die gleiche Arbeit: 430 Kilogrammmeter verbraucht werden, z. B. durch Reibung oder unelastischen Stoss, um 1 Wärmeeinheit zu liefern, d. h. um 1 Kilogramm Wasser von 0° auf 1°C. zu erwärmen.

Der Engländer Joule, der sich um die Lehre von der Erhaltung der Kraft neben den deutschen Begründern derselben in höchster Weise verdient gemacht hat, hat das mechanische Aequivalent der Wärme wirklich durch den Kraftaufwand bestimmt, der erforderlich ist, um die Temperatur von Wasser oder Quecksilber durch Reibung mit einem Schaufelrad, das durch ein fallendes Gewicht in Bewegung gesetzt wurde, um eine bestimmte Grösse zu erhöhen. Umgekehrt kommt man zu sehr wenig abweichenden Resultaten, wenn man die Arbeit bestimmt, welche durch Aufwendung einer gewissen Summe von Wärmeeinheiten geleistet wird. Man muss zu derartigen Bestimmungen Fälle auswählen, in welchen durch die Wärme nichts anderes als äussere Arbeit, z. B. Heben einer Last, geleistet wird, was am einfachsten dadurch möglich ist, dass man mit Hülfe eines vollkommenen Gases Wärme in Arbeit umsetzt, indem man sich das Gas durch Wärme ausdehnen lässt. Joule hat bewiesen, dass bei Ausdehnung eines Gases zur Entfernung der einzelnen Gasmoleküle oder -Atome keine Kraft erforderlich ist, es gehört zum Begriff des Gases, dass sich die gleichartigen Atome nicht anziehen, wie es die Atome der festen und flüssigen Körper thun, sondern abstossen. Bei der Ausdehnung der Gase kostet sonach nur die Ueberwindung eines äusseren Widerstandes Arbeit. Man braucht also nur festzustellen, wie viel Wärmeeinheiten wir einem Gase mehr zuzuführen haben, um es auf eine bestimmte Temperatur zu bringen, wenn es sich mit Ueberwindung eines äusseren Widerstandes, also mit Leistung von äusserer Arbeit, ausdehnt, als wir zur Hervorbringung derselben Temperatur des Gases bedürfen, wenn es an der Ausdehnung gehindert ist und das gleiche Volum vor und nach der Erwärmung beibehält.

Körper, deren Atome sich nicht abstossen, wie die eines Gases, werden durch Wärme ebenfalls ausgedehnt und leisten dabei durch die Ueberwindung von Widerständen eine bestimmbare äussere Arbeit. Um ihn ausdehnen zu können, müssen aber die Atome des betreffenden Körpers, die sich mit einer bestimmten Kraft anziehen, aus einander gezogen werden, wie wir das Gewicht von der Erde erheben mussten, in beiden Fällen mit einem

Aufwand von Kraft, die von aussen zugeführt werden muss. Es hat sonach bei festen und flüssigen Körpern die Wärme bei der Ausdehnung nicht nur äussere Arbeit wie bei den Gasen, sondern auch innere Arbeit, die Ueberwindung der Anziehungskraft der Atome, zu leisten. Es wird Wärme = Kraft gebraucht, um die der Ausdehnung entgegenstrebenden äusseren Widerstände zu überwinden, es wird aber auch Wärme = Kraft verbraucht, um die innern Widerstände, die der Ausdehnung entgegenstehen, die Attraktion der Atome, zu überwältigen. Durch die zweite Kraftsumme, welche diese innere Arbeit leistet, wird eine Zustandsänderung in dem Körper hervorgerufen. Innere Arbeit und äussere Arbeit zusammen bilden die Leistung der zugeführten Wärme, deren Summe also bedeutender sein muss, als wenn die äussere Arbeit allein hätte geleistet werden müssen. Die Wärme, welche zur Zustandsänderung des Körpers, zur inneren Arbeit der Auseinandertreibung der Atome verwendet wurde, ist in dem Körper angehäuft. Nähern sich die Atome einander wieder bis zur anfänglichen Ruhelage, aus der sie durch Wärmezufuhr entfernt wurden, so wird die ganze Wärmemenge, die dazu erforderlich war, wieder frei. So sehen wir bei dem Uebergang der Gase in den flüssigen Zustand, bei dem Uebergang der flüssigen Körper in den festen Zustand, die Kraft = Wärmesumme wieder frei werden, welche zur Entfernung der Atome verwendet werden musste.

Die Gesetze der mechanischen Wärmetheorie finden natürlich in der Physiologie, wo es sich um Erklärung der Krafterzeugung im Organismus handelt, ihre Anwendung. Es ist von selbst klar, dass das für die Wärme Ausgesagte auch für alle anderen Kräfteformen (Electricität, chemische Kraft, Licht) Geltung behauptet, die ja alle nichts Anderes als Bewegungsarten sind, welche eine in die andere umgewandelt werden können. Man bedient sich zweckmässig bei derartigen Umrechnungen von einer Kraft auf die andere als Maasse derselben Einheiten, die wir oben kennen gelernt haben, der Wärmeeinheit und des Kilogrammmeters. Die electromotorischen Kräfte z. B. entsprechen dem mechanischen Aequivalent der thermischen Wirkungen der chemischen Processe in den galvanischen Elementen.

Es ist von selbst klar, dass, wie schon angedeutet, das Gesetz von dem Gleichbleiben der Kraftsumme, der Summe von lebendigen Kräften und Spannkräften, nur für ein freies System seine Geltung haben kann, dem von aussen keine Kräfte zu- oder abgeführt werden können. Ein derartiges freies System von Kräften ist nur das Weltall, nur für dieses bleibt die Summe aller Kräfte constant. Da für das Weltall kein »Aussen« existirt, so können ihm weder Kräfte neu gegeben noch entzogen werden. Wenn wir dagegen unser Fixsternensystem, das Planetensystem unserer Sonne oder das Trabantensystem unserer Erde und ihres Mondes betrachten, so sind sie keine »freien Systeme«, in ihnen wird die Summe der Kräfte ab- und zunehmen können. Indem z. B. die Sonne ihre Wärme ausstrahlt, verliert sie Kraft, die zum Theil der Erde zu gute kommt, die dadurch an Kraftquantum gewinnt.

Von Clausius ist zu dem ersten Hauptsatz der mechanischen Wärmetheorie ein zweiter praktisch nicht weniger wichtiger Hauptsatz aufgestellt worden. Er tritt bei den Discussionen meist nur in der mathematischen Zeichensprache als Formel auf. In Betreff desselben müssen wir auf die Originaluntersuchungen von Clausius verweisen. Mit Worten kann er (Fick) im Allgemeinen so ausgedrückt werden: Wenn bei einem Kreisprocesse ein gewisses Quantum Wärme in Arbeit verwandelt worden ist, so muss nothwendig gleichzeitig ein gewisses anderes Quantum von Wärme von einem wärmeren auf einen kälteren Körper übertragen worden sein. Oder umgekehrt: Wenn Wärme von einem kälteren auf einen wärmeren Körper übertragen werden soll, so muss eine gewisse Arbeit verwandt werden. Unter »Kreisprocess« versteht Clausius eine Kette von Vorgängen, in Folge deren ein Körper, durch dessen Vermittelung Wärme in Arbeit oder Arbeit in Wärme verwandelt wird, am Ende des Processes genau wieder in denselben Zustand zurückgebracht wird, in welchem er sich bei Beginn des Processes befand (Fick).

Es muss noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass manche Körper sich der Wärme gegenüber anders verhalten als die Mehrzahl der übrigen, indem sie sich innerhalb gewisser

Grenzen durch Zufuhr von Wärme nicht ausdehnen, sondern im Gegentheile verdichten.

Das bekannteste Beispiel dafür ist das Wasser, das seine grosste Dichtigkeit bei + 4°C. besitzt, sich also bei Temperaturen über 4°C. und unter 4°C. ausdehnt. Wenn wir daher Wasser Wärme zuführen, so kann sich dieses unter Umständen anstatt auszudehnen verdichten. Das Wasser zieht sich zusammen, verkleinert sein Volum, verdichtet sich bei dem Abkühlen von höheren Temperaturgraden, bis es eine Temperatur von 4°C. erreicht; bei diesem Punkt hört die Zusammenziehung auf. Dies ist der Punkt der grössten Dichtigkeit des Wassers, von 4°C. abwärts bis zum Gefrierpunkt dehnt sich das Wasser wieder aus, und wenn es sich in Eis verwandelt, ist die Ausdehnung bedeutend, das Eis schwimmt daher auf dem Wasser. Wenn wir von 0°C. an Wärme dem Wasser zuführen, so zieht es sich durch die Wärmezufuhr zunächst, bis es 4°C. erreicht hat, zusammen, dann hört die Zusammenziehung auf und es tritt anhaltendes Ausdehnen ein. Auch geschmolzenes Wismuth-Metall dehnt sich bei dem Festwerden durch Erkalten aus.

Mit der mechanischen Wärmetheorie steht es in Einklang, dass, wenn ein Körper, z. B. ein Metall zusammengepresst, verdichtet wird, sich dabei Wärme entwickelt; werden seine Atome mechanisch aus einander gezogen, durch Dehnung z. B. eines Metalldrahts, so wird Wärme verbraucht, der gedehnte Körper erkaltet. Diese Thatsache ist fast allgemein richtig, wie die Untersuchungen von Joule u. A. ergaben. Doch gibt es auch davon Ausnahmen, die an das Verhalten des Wassers und des geschmolzenen Wismuth erinnern.

Kautschuk erwärmt sich, wenn er belastet ist, durch plötzliches Ausdehnen. William Thomson, der diese Beobachtung, die gegen das allgemeine Gesetz verstösst, machte, vermuthete sogleich, dass diese Eigenthümlichkeit des Kautschuks mit der anderen verknüpft sein würde, dass er sich durch Erwärmung nicht ausdehnt, sondern zusammenzieht, verkürzt; seine Annahme wird durch das Experiment bestätigt

Schmulewitsch hat gezeigt, dass sich wie Kautschuk auch die quergestreifte Muskelsubstanz innerhalb gewisser Grenzen 2—28°C. beim Frosch durch Wärmezufuhr nicht ausdehnt, sondern contrahirt. Wir werden auf dieses Factum bei der Erklärung der Muskelaktion zurückkommen.

In Beziehung auf das Maass der Wärme- und Arbeitseinheiten herrscht einige Willkür in der Bezeichnungsweise: Kilogrammmeter, Grammmeter, sogar Gramm-Millimeter sehen wir abwechselnd als Arbeitseinheit gebraucht. Man muss sich dabei erinnern, dass die Zahl, welche die aequivalente Wärmemenge misst, unabhängig ist von der Wahl der Gewichtseinheit, wenn man zur Messung der Menge des Körpers und zur Bestimmung der Wärmeeinheit dieselbe Gewichtseinheit benutzt. Bei der Benutzung des Fusses anstatt des Meters als Höhenmass, z. B. im Fusspfund, muss man sich für die Umrechnung auf Kilogrammmeter erinnern, dass 1 Meter = 3,1862 preussische Fuss ist. Die Engländer gebrauchen als Temperatureinheit oft nicht 1°Celsius, sondern 1°Fahrenheit; 5°Celsius sind = 9°Fahrenheit. Fahrenheit nennt den Gefrierpunkt 32°F., sein Siedepunkt ist also 212°F. 20°C. sind gleich 36°F., wenn wir aber wissen wollen, welche Temperatur nach Fahrenheit = 20°C. ist, so müssen wir zu 36°F. noch die 32°F. unter 0°C. zurechnen; 20°C. sind also 68°F. Die normale menschliche Temperatur ist nach Fahrenheit's Thermometer 100°. Diese Andeutungen werden zur gelegentlichen Orientirung genügen. Die Erwärmung von 1 Pfund Wasser um 1°C. ist = 1390 Fusspfund nach der Berechnung der Engländer Tyndall.

Die Ernährungsgesetze beruhen auf dem Gesetz der Erhaltung der Kraft.

Auf den ersten Blick — zumal wenn man vergisst, dass das Gesetz von der Erhaltung der Kraft nur für ein »freies System«, nur für das gesammte Weltall Gültigkeit besitzt — könnte es erscheinen, als führte dieses Princip zu der Idee eines Perpetuum mobile. Wenn die Kräfte nicht verschwinden, wenn nur eine

Kraftform in die andere übergeführt wird, so könnte man daraus die Möglichkeit ableiten wollen, dass ein einmaliger Anstoss, wenn nur eine richtige Art der Uebertragung gefunden wäre, ununterbrochen fort Bewegung und Arbeit müsste leisten können (cf. dagegen den zweiten Hauptsatz von CLAUSIUS S. 104).

Es gibt ein sehr sinnreiches Experiment: LIEBIG's Welt im Glase, welches auf den ersten Blick das organische Leben in Pflanze und Thier als ein eigentliches Perpetuum mobile erscheinen lässt.

Das Experiment ist gegründet auf die Erfahrung über den Kreislauf des Stoffes aus der anorganischen in die organische Natur und aus dieser wieder in die anorganische zurück. Die Pflanze nimmt die anorganischen Sauerstoffverbindungen in sich auf und ertheilt ihnen durch ihren Lebensprocess die Spannkräfte zurück, indem sie die Elemente von dem Sauerstoff trennt, welche diesem im freien Zustande angehören, sie ertheilt ihnen die Eigenschaft der Verbrennlichkeit. Das Thier nimmt die von der Pflanze mit Spannkräften versehenen Stoffe in sich auf, verbindet sie wieder mit Sauerstoff und benutzt die dadurch verwendbar gewordenen Spannkräfte zu seinen mechanischen Leistungen. Die der Umgebung zurückgegebenen Elemente können wieder Bestandtheile der Pflanze und dabei mit Spannkräften versehen werden. So scheint der Kreislauf des organischen Stoffes die Lösung jenes Problemes in Wahrheit zu enthalten.

Man brachte zum Beweise dieser Verhältnisse kleine Wasserthiere und Wasserpflanzen in ein luftdicht zum Theile mit Wasser, welches die anorganischen Bestandtheile der Pflanzen und Thiere gelöst enthielt, gefülltes Glasgefäss. Das Leben geht hierbei seinen ungestörten Gang, die Thiere nähren sich von den Pflanzen, die aus den Ausscheidungsprodukten der Thiere ihre verloren gegangenen Organe wieder ersetzen.

Doch nur unter einer Bedingung geht dieses Spiel des Lebens ungestört. Die Welt im Glase gedeiht nur dann, wenn sie sich unter Verhältnissen befindet, in welchen das Licht und die Wärme der Sonne auf sie einwirken können: im Finstern sterben sowohl Pflanzen als Thiere in dem verschlossenen Glase sehr rasch ab.

Es ist klar, dass danach die geheimnissvolle »Lebenskraft«, welche in der Pflanzenzelle den Elementarstoffen die ihnen bei ihrer Oxydation verloren gegangenen Spannkräfte wieder ertheilt, nicht etwas im letzten Grunde der Pflanze selbst Zugehöriges sein könne. Man dachte sich sonst das Leben selbst als eine Kraft, welche analog den Kräften der Mechanik in Arbeit, in lebendige Kraft umgesetzt werden könnte: einen Theil der Lebenskraft dachte man von der Pflanze als Kräfte in ihre verbrennlichen Produkte hineingelegt. Diese Anschauung ist durch das genannte Experiment widerlegt. An sich ist die Pflanze nicht vermögend, den Elementen Spannkräfte zu ertheilen: sie vermag es nur unter der Benutzung ihr von aussen gelieferter Kräfte, des Sonnenlichtes und der Sonnenwärme. Diese genannten Kräfte sind es, welche die Pflanze zur Reduction der Sauerstoffverbindungen verwendet und dadurch gleichsam in sich aufspeichert. Die Pflanze ist im Stande, die Sonnenstrahlen s. v. v. in feste Form überzuführen, indem sie dieselben in Spannkräfte des Kohlenstoffs und Wasserstoffs verwandelt: es sind fixirte Sonnenstrahlen, mit denen wir im Winter unsere Oefen und Zimmer erwärmen, mit denen wir durch unsere

Dampfmaschinen Lasten bewegen, mit denen der menschliche und thierische Organismus die aktiven Bewegungen hervorbringt, durch welche sich das Thier von der Pflanze unterscheidet.

Es ist schon erwähnt, dass im Dunkeln auch die chlorophyllhaltigen Pflanzen keine Kohlensäure zu zerlegen im Stande sind, sie athmen dann ebenso wie das Thier Sauerstoff ein und Kohlensäure aus. Sie unterliegen dann wie alle feuchten organischen kohlehaltigen Stoffe den langsamen Verbrennungs-Einflüssen der Luft, es bildet sich aus der Kohle der Pflanze Kohlensäure. Die Beobachtung, dass auch unter der Einwirkung des Sonnenlichtes nur die grünen Pflanzentheile die Sauerstoffverbindungen zerlegen und Sauerstoff ausathmen, während sie daneben wie die übrigen nicht grünen Theile stets Kohlensäure aushauchen vermöge des im Cap. II geschilderten Pflanzenstoffwechsels, macht verständlich, warum die Pflanzen, besonders die Blüthen, ähnlich wie die Thiere eine etwas höhere Temperatur besitzen als die umgebende Atmosphäre; es beruht diese auf gleichzeitig neben den Reductionen in ihnen vor sich gehenden Oxydationen, die einen Theil der aufgehäuften Spannkräfte in der Pflanze selbst wieder in lebendige Kräfte überführen. Auf demselben Grunde beruhen die Bewegungs- und Electricitäts-Entwickelungen in den Pflanzen.

Die pyrheliometrischen Messungen von Pouillet und Anderen geben Anhaltspunkte zur Orientirung über die Grösse der Kraftmenge, welche fortwährend der Sonne entströmt und von den Pflanzen theilweise in Spannkräfte des Kohlenstoffs und Wasserstoffs der sauerstoffarmen Pflanzenbestandtheile verwandelt wird.

Nach directen Messungen werden bei einer Fläche, welche von der Sonne senkrecht beschienen wird, jedem Quadratfuss in jeder Minute 3.4 Wärmeeinheiten mitgetheilt. Die Wärme, welche täglich von der Sonne zur Erde gelangt, giebt den Heizeffekt von 5 Billionen Centner Steinkohlen. Rechnet man für eine Pferdekraft in der Stunde 7 Pfund Steinkohlen und berücksichtigt man, dass unsere Dampfmaschinen nur $^1/_{22}$ des absoluten mechanischen Effectes der Wärme geben, so ergibt sich der Gesammteffect der Sonnenwärme der Erde in der Stunde zu 66 Billionen Pferdekräften. Nach Tyndall würde die ganze Quantität der Sonnenwärme, die in einem Jahre die Erde empfängt, gleichmässig über die Erdoberfläche vertheilt, genügen, um eine Schicht Eis von 100 Fuss Dicke, welche die ganze Erde umhüllt, zu schmelzen. Sie würde einen Ocean, der die Erde in einer Tiefe von 15 geographischen Meilen bedeckt, von 0^0 bis auf den Siedepunkt erwärmen. Dabei ist die auf die Erde gelangende Wärmemenge nur $^1/_{200\,000\,000}$ der ganzen von der Sonne ausgehenden Ausstrahlung (Tyndall).

Diese Zahlen geben einen annähernden Begriff, welches enorme Kraftquantum täglich von der Sonne als Wärme ausgeht. Man begreift, wie schon die Aufspeicherung eines Theiles dieser Kraftmasse in den Pflanzen hinreicht, um jene grosse Summe mechanischer Effecte mit ihrer Hülfe hervorzubringen, welche das Thierreich und unsere Mechanik von jenen fordert. Fast alle anderen Bewegungen und Kräfte auf der Erde stammen ebenfalls von den Sonnenstrahlen ab. Die Steinkohlen sind die Reste alter Pflanzenvegetation. Die Sonnenwärme bedingt z. B. die Bewegung der Winde, das Erheben des ver-

dunstenden Wassers und damit die Bedingung seiner beim Herabfliessen freiwerdenden Spannkräfte.

Ueber die Kraftsumme, welche in Form von Licht von der Sonne zur Erde kommt, sind derartige Berechnungen noch kaum gestattet, doch ist auch sie eine ausserordentlich grosse.

Es wird uns aus den bisherigen Betrachtungen klar, was die als Nahrung in den thierischen Organismus aufgenommenen Stoffe für eine Bedeutung für diesen haben.

Auf der einen Seite werden die aufgenommenen Stoffe zur Formbildung, zum Wachsthum und zur Ernährung der Organe verwendet, andererseits werden die mit ihnen eingeführten Spannkräfte in mechanische Leistungen umgesetzt.

Abgesehen von dem Antheil an dem Aufbau der Zelle, den wir die Nährstoffe nehmen sehen, wird ihr Werth für den Organismus noch weiter abhängen von der Summe der Spannkräfte, welche mit ihnen eingeführt wird. Es wird von diesem Gesichtspunkte aus verständlich, warum die Einführung sauerstoffreicher chemischer Verbindungen organischer Natur meist weniger Werth für das Thier besitzt, als die solcher, in denen verhältnissmässig weniger Sauerstoff enthalten ist. Die einen haben durch ihre Vereinigung mit Sauerstoff den grössten Theil ihrer verwendbaren Spannkräfte verloren, die anderen sind noch im Vollbesitze derselben; die Kraftleistungen, welche von dem einen oder anderen Stoffe im Organismus hervorgebracht werden können, stehen im Allgemeinen im umgekehrten Verhältnisse zu ihrem procentischen Gehalt an Sauerstoff. Es ist danach einleuchtend, warum die Kohlehydrate, welche auf ein Doppelatom Wasserstoff ein Atom Sauerstoff enthalten, bei denen also nur noch der Kohlenstoff mit Sauerstoff zu verbinden bleibt, weniger Werth für den Organismus haben, als die Fette, bei denen nicht nur der Kohlenstoff, sondern auch noch ein grosser Theil des Wasserstoffes seine Spannkraft besitzt und diese durch Verbindung mit Sauerstoff frei werden lassen kann. Noch weniger Werth für die organischen Kraftleistungen wird gewöhnlich den organischen Säuren zugeschrieben, bei denen nur ein Bruchtheil des Kohlenstoffes zu oxydiren bleibt. Doch darf nicht vergessen werden, dass eine grössere oder geringere Summe von Spannkräften allein einen Stoff noch nicht zu einem besseren oder schlechteren Nahrungsmittel macht, z. B. Kohle, die einen so grossen Spannkraftwerth besitzt, können wir nicht verdauen; schwer verdauliche Speisen verbrauchen zu ihrer Assimilation viel Kraft, die ihrer Wirkung abgehen muss; Stoffe, die in besonders wichtige Organgruppen, wie das Nervensystem eingehen und dessen Thätigkeit beeinflussen, solche, welche sich an dem Verdauungsgeschäft activ mit betheiligen etc., beanspruchen einen besonders hohen Werth als Nahrungsstoffe.

Die Summe der Spannkräfte ist äusserst verschieden in den verschiedenen als Nahrungsstoffe eingeführten chemischen Verbindungen. Um uns ein genaues Bild der Leistungen jedes einzelnen im thierischen Haushalte machen zu können, müssen wir vorerst die Summe der ihnen inhärirenden Spannkräfte bestimmt haben; wir müssen die Wärmemenge kennen, welche bei dem Zerfall unter Sauerstoffaufnahme, bei der organischen Oxydation einer bestimmten Quantität dieser Stoffe im animalen Organismus frei und verwendbar wird.

Für eine Anzahl einfacher und zusammengesetzter Stoffe ist die Wärmeent-

wickelung bei ihrer vollkommenen Verbrennung bestimmt. Die freiwerdenden Spannkräfte, um die es sich bei der Verbrennung, bei der Vereinigung freier Elementarstoffe handelt, sind von überraschender Quantität.

Nach den Versuchen von Favre und Silbermann liefert bei der Verbrennung zu Kohlensäure und Wasser

1 Gewichtseinheit Kohlenstoff: 8086 Wärmeeinheiten,
1 - Wasserstoff: 34462 -

Verbindet sich 1 Gewichtstheil Wasserstoff mit Stickstoff zu Ammoniak, so entwickeln sich 7576 Wärmeeinheiten.

Diese Zahlen zeigen, was für eine enorme Kraftquantität bei der Vereinigung der Atome z. B. bei der Verbrennung frei wird; umgekehrt lehren sie uns, was für eine Kraftsumme aufgewendet werden muss, um die chemisch verbundenen Atome zu trennen, wie das die chlorophyllhaltigen Pflanzenzellen unter der Einwirkung des Lichtes thun.

Bei der Verbindung eines Atoms mit einem andern, z. B. eines Doppelatoms Wasserstoff mit einem Atom Sauerstoff, wird stets die gleiche Quantität von Spannkräften verwendbar gemacht und frei, vorausgesetzt, dass bei der chemischen Verbindung nicht noch andere Wirkungen ausgeübt werden, die in ihrer Intensität schwanken können. Das Resultat der Verbrennung z. B. des Wasserstoffs mit Sauerstoff wird in Bezug auf die Wärmeentwickelung ein verschiedenes sein, wenn einmal das Wasser, wie das bei der Verbrennung in heller Flamme geschieht, im gasförmigen Zustande entweicht, ein andermal als flüssiges Wasser oder gar fest, gebunden zurückbleibt. Bei dem Uebergang des Wassergases in tropfbar flüssiges Wasser, bei dem Uebergang des Wassers in den festen Zustand (Eis) wird eine sehr bedeutende Menge von Spannkräften noch frei, die im ersteren Fall für den Heizeffekt verloren gehen. Jedermann weiss, dass feuchtes Holz eine geringere Verbrennungswärme entwickelt als trockenes; ein beträchtlicher Theil der aus dem chemischen Process frei werdenden Wärme wird für die Verdunstung des Wassers verbraucht; auch das bei der Verbrennung des Holzes erst entstehende Wasser muss für seine Verdunstung entsprechend Wärme in Beschlag nehmen, die der Gesammtsumme der Verbrennungswärme entgeht. Die Verbindung des Wasserstoffs mit Sauerstoff zeigt sonach eine verschiedene äussere Kraftentwickelung, je nachdem das gebildete Wasser dampfförmig entweicht oder flüssig oder fest zurückbleiben kann. Ganz allgemein erscheint die bei der Verbrennung frei werdende Wärme als eine algebraische Summe von zwei Grössen, von denen die eine positiv, die andere negativ ist. Die für die Erzeugung von Wärme negative Grösse bezeichnen wir als »Verbrennungsarbeit«, zur Ueberwindung von Widerständen verbraucht die Verbrennung einen Theil der verwendbaren Spannkräfte, die dann nicht als »freie Wärme« auftreten können, an der Verbrennungs-Wärme sonach abzuziehen sind. Um z. B. feste Kohle mit Sauerstoff zu der gasförmigen Kohlensäure zu verbinden, muss die Kohle selbst aus dem festen in den gasförmigen Zustand — im Kohlensäuregas ist ja die Kohle im Gaszustande — übergeführt werden; zu dieser Zustandsänderung wird ein Theil der bei der Verbindung der Atome frei werdenden Spannkräfte verwendet, die also nicht als lebendige Kraft, als Wärme erscheinen können. Betrachten wir nicht ein Kohlenstoffatom in seiner Verbindung mit Sauerstoff, sondern eine Summe von solchen zu einem festen Ganzen vereinigt, so wird die Trennung der Kohlenstoffatome von einander, die der Neuverbindung vorausgehen muss, einen bestimmten Kraftaufwand, der von der Verbrennungswärme abgeht, erfordern; je inniger diese Verbindung der Kohlenatome ist, desto grösser ist die zu ihrer Trennung erforderliche Kraftquantität. So macht der einfache Unterschied in der Dichte den Diamant (krystallisirter Kohlenstoff) schwerer verbrennlich als die Kohle und bedingt einen Unterschied in ihrer Verbrennungswärme; Favre und Silbermann fanden die Verbrennungswärme des Diamants um 285 Wärmeeinheiten kleiner als die der Kohle. In dem Leuchtgas, in welchem der Kohlenstoff schon gasförmig ist, fällt die Arbeit zur Vergasung desselben weg, dagegen kommt eine neue, seine Trennung von dem Wasserstoff, hinzu.

Man glaubte früher nach dem sogenannten Dulong'schen Gesetz die bei der Ver-

brennung von Substanzen frei werdende Wärme berechnen zu können aus ihrer chemischen elementaren Zusammensetzung und der Verbrennungswärme ihrer Elemente; da aber die Verbindung und Lagerung der Atome auch bei gleicher quantitativer Zusammensetzung äusserst verschieden sein kann und ist, und dadurch die »Verbrennungsarbeit« grösser oder kleiner ausfällt, so gibt eine derartige Berechnung keine exakt brauchbaren Resultate, die direct bestimmten Werthe sind oft ziemlich beträchtlich verschieden von den berechneten.

Da man meist vorauszusetzen pflegt, dass die bei directer Verbrennung organischer Stoffe entstehende Wärmemenge gleich sei der bei der »organischen Oxydation«, bei der Sauerstoffaufnahme und Zersetzung derselben Stoffe im animalen Organismus frei werdenden Kraftsumme, die zu den Leistungen des Thierkörpers verwendbar werden, so hat man den Bestimmungen der Verbrennungswärme verschiedener organischer Substanzen und Nahrstoffe auch von physiologischer Seite einen grossen Werth beigelegt, wir führen daher einige der experimentellen Untersuchungsresultate an. Nach FAVRE und SILBERMANN liefert eine Gewichtseinheit bei ihrer Verbrennung:

Aethyl-Alkohol	7183	Wärmeeinheiten
Ameisensäure	2091	-
Essigsäure	3505,2	-
Buttersäure	5647	-
Valeriansäure	6439	-
Ethalsäure	9316	-
Stearinsäure	9716,5	-
Wachs	10490	-
Terpentinöl	10852	-
Citronöl	10959	-

Von FRANKLAND sind die Verbrennungswärmen bestimmt worden für Stoffe, die als Nahrungsmittel in den animalen Organismus eingeführt werden, oder deren Spannkraftvorrath für die Zwecke der Physiologie von allerhervorragendster Bedeutung ist, er fand

Eine Gewichtseinheit:	liefert bei der Verpuffung mit chlorsaurem Kali und Mangansuperoxyd	
Traubenzucker	3277	Wärmeeinheiten
Rohrzucker	3348	-
reines Eiweiss	4998	-
reine Ochsenmuskelfaser . . .	5130	-
Ochsenfett	9069	-
Harnstoff	2206	-
Harnsäure	2615	-
Hippursäure	5383	-

Ist es, wie angenommen wird, gestattet, diese Werthe der Wärmeentwickelung direct denen gleichzusetzen, welche durch die Stoffwechselvorgänge im Organismus aus denselben Stoffen entstehen, so liefern uns die vorstehenden Bestimmungen ein Maass für die Wärmeökonomie oder im Allgemeinen für die Kraftökonomie der Thiere bei bestimmter Grösse des Stoffumsatzes. Der Einblick, der sich uns eröffnet, wird aber nach LIEBIG dadurch getrübt, dass Thatsachen dafür zu sprechen scheinen, dass im Gegensatz zu den geläufigen Anschauungen die Verbrennungswärme uns kein sicheres Maass gibt für die Summe der Spannkräfte, die bei derselben Verbindung durch organische Zersetzung frei werden. So liefert die Verbrennung des aus einer bestimmten Zuckermenge durch Gährung entstandenen Alkohols ziemlich viel mehr Wärme als die Verbrennung des Zuckers selbst, obwohl in der Gährung ebenfalls schon Wärme frei wird. Liegt dieses Plus nicht in den Fehlergrenzen solcher Versuche, so können also auch die oben mitgetheilten Zahlen zunächst nur zu annähernder Vergleichung dienen.

Wir erkennen aus ihnen, dass im Allgemeinen mit dem abnehmenden Sauerstoffgehalt der organischen Verbindungen die bei ihrer Verbrennung entstehende Wärmemenge zunimmt.

die Fette zeigen eine höhere Wärmeentwickelung als die Kohlehydrate und Eiweissstoffe, wie wir schon oben supponirten. Wo es sich nicht um Gewebsbildung, sondern um Krafteerzeugung z. B. Wärmebildung im Organismus handelt, wird ein weit geringeres Gewicht Fett die gleiche Wirkung wie ein grösseres von Zucker oder fettfreiem Eiweiss hervorbringen.

Folgende Betrachtung gibt uns einen Begriff von der Wirkung der Molekularkräfte (TYNDALL).

Bei der Vereinigung von Wasserstoff mit Sauerstoff zu Wasser verbinden sich bekanntlich eine Gewichtseinheit Wasserstoff mit 8 Gewichtseinheiten Sauerstoff zu 9 Gewichtseinheiten Wasser. Die Erwärmung von 1 Pfund Wasser um 1° C. repräsentirt eine Arbeit von 1390 Fusspfund (cf. oben S. 105). Die Verbrennung von 1 Gewichtseinheit Wasserstoff zu 9 Gewichtseinheiten Wasser liefert nach den oben angeführten Beobachtungen von FAVRE und SILBERMANN 34642, in runder Zahl 34000 Wärmeeinheiten, d. h. eine Wärmemenge, welche hinreicht, um 34000 Pfund Wasser um 1° C. zu erwärmen. Da mit der Wärme, welche verbraucht wird, um 1 Pfund Wasser um 1° C. zu erwärmen, 1390 Pfund auf 1 Fuss Höhe gehoben werden können, so ist die Arbeit, welche durch die Verbrennung von 1 Pfund Wasserstoff zu 9 Pfund Wasser geleistet wird, gleich 34000 × 1390 Fusspfund, die Wärme, welche dabei frei wird, ist sonach im Stande, 47 Millionen Pfund auf 1 Fuss Höhe zu heben. Es ist das ein Beispiel für die ganz ungemein grosse Kraft, mit welcher sich chemisch anziehende Atome gegen einander stürzen, eine Kraft, gegen welche die Schwerkraft, wie sie sich gewöhnlich auf der Oberfläche der Erde äussert, in ihren Wirkungen fast verschwindet. Ueberhaupt sind die Molekularkräfte von überraschend mächtiger Wirkung. Auch bei der Verdichtung z. B. der gasförmigen Stoffe zu Flüssigkeiten, dieser zu festen Stoffen werden sehr grosse Wärmemengen = Kraftmengen frei. Wenn sich die Atome der 9 Pfund Wasserdampf unseres Beispiels bei dem Sinken der Temperatur unter 100° C. zur Bildung einer tropfbaren Flüssigkeit vereinigen, so erzeugen sie eine Wärmemenge, welche hinreicht, um die Temperatur von 537.2 × 9 = 4835 Pfund Wasser um 1° C. zu erhöhen. Multipliciren wir wie oben mit der Zahl des mechanischen Aequivalentes für Fusspfund = 1390, so erhalten wir als Arbeitswerth der blossen Verdichtung in runder Zahl 6720000 Fusspfund, mit anderen Worten, es könnten durch die bei der Verdichtung von 9 Pfund Wasserdampf frei werdende Kraftsumme 6720000 Pfund auf 1 Fuss Höhe gehoben werden. Durch die weitere Verdichtung vom flüssigen zum gefrorenen, festen Zustand werden von den 9 Pfunden Wasser noch 993564 Fusspfund geliefert.

Die Verbrennung von 1 Pfund Kohle in der Zeiteinheit = Minute ist **gleich der Arbeit von 300 Pferden in derselben Zeit.**

Die Molekularkräfte, um deren Verwendung im animalen Organismus es sich handelt, sind sonach in ihrer Quantität sehr bedeutend. Wir sehen schon allein durch nähere Aneinanderlagerung von gleichartigen Atomen sehr grosse Kraftsummen entwickelt, bei der Umlagerung chemisch sich anziehender Atome muss, wenn dieser Vorgang mit einer Näherung der Atome verknüpft ist, eine unter Umständen noch bedeutendere Kraftmenge frei werden. So sehen wir bei der Umlagerung der Atome des Cyans zu dem atomistisch gleich zusammengesetzten Paracyan eine so bedeutende Wärmeentwickelung eintreten, dass, wenn man zu dem Versuche Cyansilber benutzt, das sich bildende Paracyansilber in sichtbares Glühen geräth. Trotz der gleichen atomistischen Zusammensetzung ist die von Paracyan bei der Verbrennung gelieferte Wärmemenge dem entsprechend geringer als die des Cyans. Das Paracyan kann durch Neuzufuhr von Wärme wieder in Cyan übergeführt werden, es verwandelt sich nach DELBRÜCK beim starken Glühen in einem Strom von trockenem Stickgas oder **Kohlensäuregas vollständig wieder in Cyan.**

Betrachtungen der Art liessen die DULONG'sche Berechnung der Verbrennungswärme organischer Substanzen aus der Verbrennungswärme ihrer elementaren Bestandtheile als unzulässig erscheinen, das Experiment widerlegte die Berechnungsresultate. Nach dem DULONG'schen Gesetz müssen alle atomistisch gleich zusammengesetzten Stoffe auch die gleiche Verbrennungswärme haben, was das Experiment nach dem eben Gesagten nicht bestätigt. Wenn man die Verbrennungswärme nach dem DULONG'schen Gesetz zu berechnen hatte von

einem Stoff, welcher Sauerstoff in seiner Verbindung besitzt, so dachte man sich diesen in der Verbindung enthaltenen Sauerstoff schon verbunden mit der äquivalenten Menge desjenigen Bestandtheils, zu dem der Sauerstoff die grösste Verwandtschaft zeigt. Diese Quantität des betreffenden Bestandtheils liess man ganz aus der Rechnung weg, man berechnete nur, wie viel Wärme bei der Verbrennung des Restes der Bestandtheile gebildet wird. Diese Wärmemenge sollte die wirkliche Verbrennungswärme der betreffenden Verbindung sein. Bei den Kohlehydraten (S. 64), die bekanntlich ihren Namen daher haben, dass sie Wasserstoff und Sauerstoff in dem Verhältniss enthalten, in welchem diese Stoffe sich zu Wasser verbinden, wurde der Wasserstoff nach dieser Berechnungsweise als an der Produktion der Verbrennungswärme sich nicht betheiligend ganz weggelassen, die Wärmeproduktion nur aus dem Kohlenstoff berechnet. Viele organische stickstofffreie Säuren enthalten mehr Sauerstoff als zur Bildung von Wasser mit dem in der chemischen Verbindung vorhandenen Wasserstoff nöthig ist; der Rest des Sauerstoffs, der bei der berechneten Wasserbildung übrig bleibt, musste nach dem Dulong'schen Gesetz noch mit einer äquivalenten Menge Kohlenstoff zu Kohlensäure verbunden gedacht und, an der Wärmebildung nicht betheiligt, abgerechnet werden. Noch complicirter sind die Berechnungen, wenn noch mehr Elemente als Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff in der chemischen Verbindung, deren Verbrennungswärme berechnet werden soll, enthalten sind.

Wenn es sich übrigens bei den Betrachtungen nur um allgemeine Ueberschläge handelt, bei denen es auf einen Fehler von mehreren Procenten nicht ankommt, so können, wo keine directen Bestimmungen vorliegen, die nach dem Dulong'schen Gesetz berechneten Zahlen wohl noch immer in Anwendung gezogen werden. Die Vergleichung der Verbrennungswärme des Zuckers und Alkohols zeigt nämlich, dass sich auch beträchtliche Differenzen durch die directen Bestimmungen ergeben können. Und noch einmal wollen wir hier an die Ansicht Liebig's erinnern, dass die Wärme, welche die Stoffe bei ihrer gewöhnlichen Verbrennung liefern, auch im besten Falle nur annähernd der Kraftsumme gleichgesetzt werden könne, welche diese liefern bei der »organischen Oxydation«, bei ihrer im animalen Organismus stattfindenden Rückführung zu den einfachen Stoffen, aus denen sie in der Pflanze gebildet wurden.

Die Leistungen des thierischen Organismus beruhen auf dem Stoffwechsel.

Wir haben für alle mechanischen Leistungen des thierischen Organismus eine ausreichende Kräftequelle aufgefunden; wo wir mechanischen Leistungen im Thiere begegnen, werden wir zuerst zu fragen haben, ob sie nicht dieser Ursache: der Stoffzersetzung unter Mitwirkung des Sauerstoffs, der »organischen Oxydation« entstammen.

Die Art und Weise, in welcher die frei gewordenen Spannkräfte verwendet werden, in welche Form lebendiger Kraft sie sich verwandeln, hängt von dem Organe ab, in welchem die Kräfte liefernden Processe vor sich gehen. Wie die aus der Verbrennung der Kohle stammenden Spannkräfte in unseren zu verschiedenen Zwecken construirten Maschinen je nach den Bedingungen, unter denen die Verbrennung erfolgt, verschiedene Leistungen hervorbringen, verschiedene Kräfteformen annehmen, gerade so sind analoge Verhältnisse in dem Organismus für die Art der Verwendung der Spannkräfte bedingend. In unseren Oefen entsteht aus der Verbrennung der Kohle vor allem Wärme; durch ein Thermo-Element können die Spannkräfte der verbrennenden Kohle in Electricität und Magnetismus übergeführt werden; in den Dampfmaschinen leisten sie Arbeit, bewegen sie Lasten. Ganz analog verhält es sich im thierischen Körper. In der grössten Anzahl der Zellen und Zellenderivate wird aus den chemischen Spann-

kräften unter gewöhnlichen Verhältnissen vor allem Wärme gebildet, welche zu den thierisch-organischen Vorgängen ein absolutes Erforderniss ist. In den Nervenzellen und Nervenfasern geht ein bestimmter Theil der Spannkräfte in Electricität über; in den Muskeln wird neben den genannten beiden Kräfteformen auch noch mechanische Arbeit geleistet, so dass wir demnach in diesen die complicirteste Art der Kräfteverwendung antreffen. Es darf freilich nicht vergessen werden, dass bei chemischen Verbindungen stets auch electrische Wirkungen auftreten, so dass auch in allen jenen Zellen, welche nicht zu Muskeln oder Nerven gehören, electrische Vorgänge sich finden. Ebenso gibt es nach den neuesten Beobachtungen kaum eine wahre Zelle, der, wenigstens im Jugendzustande, alle Contractilität, die früher nur den Muskelzellen und -Fasern zugeschrieben wurde, abgeht.

Die Form, die Structur der Organe hat demnach zunächst keinen Einfluss auf die Erzeugung der Kräfte überhaupt; die Verwendbarmachung von Spannkräften ist eine Eigenschaft aller thierischen Zellen, somit also auch aller aus Zellen sich aufbauenden Organe; die Organe haben für die Kräfteerzeugung des Organismus aber insofern Bedeutung, als sie die freiwerdenden Spannkräfte in einer bestimmten, nach der Structur der Organe verschiedenen Richtung verwendbar machen.

Bei den Maschinen unserer Mechanik ist die Verwendung der Spannkräfte, für welche sie bestimmt sind, stets nur eine unvollkommene. Nur ein Theil der absoluten Kraft der Kohle wird als Arbeit der Maschine gewonnen, die übrige Kräftesumme geht als Wärme, Electricität, innere Reibung für die äussere Arbeit verloren. In dem thierischen und menschlichen Organismus, die ja auch Kraftmaschinen im Sinne der Mechanik genannt werden müssen, werden dagegen die Spannkräfte sehr vollkommen ausgenutzt. Die neben der äusseren Arbeit entstehenden Kraftformen der Electricität, Wärme, innere Arbeit, haben für den thierischen Haushalt eine nicht geringere Bedeutung als die äussere Arbeitsproduktion. Ohne Wärme würde die Mehrzahl der Verwandtschaftsbeziehungen der einzelnen den Körper constituirenden und von aussen in ihn eintretenden chemischen Stoffe nicht sich bethätigen können; unter ihrer Einwirkung nur gehen die Sauerstoffverbindungen, auf denen im letzten Grund alle animalen Thätigkeiten beruhen, vor sich. Aehnlich bedingt und bedingend ist das Auftreten electrischer Vorgänge, electrischer Strömungen im Thiere. Wie die chemischen Vorgänge mit electrischen Erscheinungen verknüpft sind, so können, wie es scheint, auf der anderen Seite gewisse Zersetzungen, z. B. die das Zellenleben charakterisirende Spaltung der Eiweissstoffe, nicht ohne Einwirkung jener starken electrischen Ströme, die sich in den Zellen und Zellenabkömmlingen, besonders den Muskeln und Nerven finden, vor sich gehen. Wir sehen die Grösse des Stoffverbrauchs in jenen Organen im Verhältniss stehen zu der Stärke des in ihnen kreisenden electrischen Stromes.

Die thierische Kraftmaschine ist also eine vollkommenere als die von der Mechanik gelieferten krafterzeugenden Maschinen, doch beruhen im letzten Grunde die thierischen Kraftleistungen auf den gleichen Bedingungen, auf dem Frei- und Verwendbarwerden von Spannkräften, auf die auch die Leistungen der Maschinen zurückgeführt werden können. Bei den calorischen Maschinen

besteht der kraftproducirende Vorgang ebenso in Sauerstoffaufnahme chemischer Stoffe wie bei den animalen Organismen.

Kraftquellen des Organismus ausser der organischen Oxydation.

Bisher haben wir nur die bei der Verbindung von Stoffen frei werdende Wärme als Kraftmaterial betrachtet; es kommen auch Verbindungen vor, bei deren Entstehung Wärme verschwindet, die dagegen bei ihrer Zersetzung Wärme liefern.

Derartige Stoffe scheinen in der organischen Natur nicht ganz selten zu sein. Wir sehen, dass bei der Zersetzung des Zuckers in Kohlensäure und Alkohol Wärme frei wird, die Gährungswärme; ähnliches Verhalten wird für eine Reihe von Stoffen angenommen werden müssen, zum Theil ist der Beweis dafür schon geliefert. Eine der Hauptursachen für dieses merkwürdige Verhalten, das zunächst ganz unerklärlich erscheint, ist die Zusammensetzung, die auch sogenannte freie Moleküle, z. B. Sauerstoff, nach den Entdeckungen Schönbein's erkennen lassen (Fick). An einem Beispiel wird der Vorgang am einfachsten klar werden. Bei der Zersetzung des Stickoxyduls (NO) in Stickstoff und Sauerstoff wird Wärme frei. Stickstoff und Sauerstoff ziehen sich gegenseitig an, durch ihre Verbindung muss eine bestimmte Summe lebendiger Kraft gebildet werden; da diese nicht zum Vorschein kommt, so müssen wir annehmen, dass für sie eine während der Verbindung eintretende innere Arbeit verbraucht werde. Schönbein lehrt, dass jedes Molekül freier Sauerstoff aus zwei Atomen zusammengesetzt ist, die beide Sauerstoff sind, aber einen electrischen Gegensatz zeigen: Ozon $\ominus$ und Antozon $\oplus$, freier Sauerstoff ist eine Verbindung von $\ominus + \oplus$. Diese Sauerstoffatome müssen zuerst mit Aufwand einer gewissen Kraftsumme getrennt werden, wenn eins derselben sich mit dem Stickstoffatom verbinden soll. Zu dieser Trennung der Sauerstoffatome wird die bei der Verbindung des Stickstoffatoms mit dem einen getrennten Sauerstoffatom entstehende lebendige Kraft verbraucht. Es ist das ein Beispiel dafür, dass bei den Verbindungen von Stoffen überhaupt, wie wir schon oben sahen, meist mehrere Processe neben einander herlaufen, von denen die einen Kräfte verbrauchen, die anderen Kräfte liefern, die algebraische Summe kommt zur Wahrnehmung als Verbindungs = Verbrennungswärme, die also theoretisch betrachtet entweder negativ oder positiv sein kann. Die bei der Bildung des Moleküls Stickoxydul verbrauchte Wärme wird bei der Trennung desselben wieder frei, indem sich die abgespaltenen Sauerstoffatome wieder paarweise zu neutralem Sauerstoff verbinden. Es ist experimentell nicht festgestellt, ob dieser Erklärungsgrund ausreicht für alle derartigen Fälle, von denen die explosiven chemischen Verbindungen die geläufigsten Beispiele liefern. Von manchen Seiten wird der Spaltung des Eiweisses hypothetisch eine bedeutende Kraftentfaltung zugeschrieben, die bei der Muskelthätigkeit zur Wirkung kommen soll. Analog wie Sauerstoff verhalten sich bekanntlich auch noch andere Elementarstoffe, z. B. Kohlenstoffatome können sich chemisch unter einander verbinden, ihre Trennung verbraucht dann Kraft.

Die Kräfte, über die der animale Organismus verfügt, stammen nach dem Vorstehenden: aus der chemischen Stoffzersetzung und Stoffverbindung, vor Allem der organischen Oxydation, Vorgänge, die wir als »Stoffwechsel« im vorigen Capitel zusammenfassten.

Durch eine Reihe von mechanischen Vorgängen im Organismus, wie z. B. durch die Reibung des Blutes in den Venen und Arterien, wird Wärme geliefert, d. h. lebendige Kraft frei, die der Organismus auch zu seinen Zwecken verwenden kann. Man hat hin und wieder gemeint, dass, da dieser Satz unbestreitbar ist, ein Theil der von dem Thierorganismus erzeugten lebendigen Kraft (Wärme) nicht den chemischen Processen des Stoffwechsels entstamme, dass sich die aus den mechanischen Vorgängen hervorgehende Wärmemenge zu der durch chemische Ursachen erzeugten hinzuaddire. Diese Meinung ist irrig, da man nicht vergessen darf, dass die Kraft, mit der sich das Blut bewegt, und die durch

Reibung in Wärme umgesetzt wird, von der Muskulatur des Herzens aus chemischen Umsatzvorgängen geliefert wird. Analog ist es mit der Wärme, die aus den Athembewegungen etc. entsteht; alle diese mechanisch erzeugten lebendigen Kräfte entstammen in ihrem letzten Grunde doch dem Stoffwechsel, so dass wir diesen als die einzige Ursache der Krafterzeugung betrachten müssen. Die Wärmemengen, die aus den angegebenen mechanischen Ursachen im menschlichen Körper entstehen, sind sehr bedeutend. Der Aortenkreislauf leistet nach FICK in 24 Stunden eine Arbeit von etwa 40000 Kilogrammmeter, was fast 100 Wärmeeinheiten gleich ist. Nach VOLKMANN's Angaben noch $1/2$ mal mehr. Durch die Reibung wird diese gesammte Kraftsumme in Wärme verwandelt; der menschliche Körper liefert sonach allein durch die Reibung in seinen Blutgefässen wenigstens eine Wärmemenge, um 100 Kilogramm = 200 Pfund Wasser um 1°C. zu erwärmen. Nach der Schätzung von DONDERS beträgt die Arbeit eines Athemzugs 0,63 Meterkilogramme; rechnet man auf die Stunde 900 Athemzüge, so beträgt die fast ganz in Wärme sich umwandelnde Respirationsarbeit in einer Stunde 567 Meterkilogramme, in 24 Stunden 13608 Meterkilogramme, in runder Summe 32 Wärmeeinheiten. Legen wir die FRANKLAND'schen Verbrennungswärmebestimmungen einer Berechnung der Wärmemenge zu Grunde, welche ein Erwachsener in 24 Stunden producirt, so finden wir dafür im Durchschnitt etwa 2200 Wärmeeinheiten (cf. thierische Wärme). Rechnen wir zur Wärmeerzeugung durch Blutcirculation und Athmung noch die Wärmemenge zu, welche durch die übrigen Bewegungen im Organismus erzeugt wird: Lymphbewegung, Bewegung der Eingeweide etc., so finden wir, dass die auf die angegebene Weise mechanisch erzeugte Wärme etwa $1/10$ der Gesammtwärmeproduktion des Körpers ausmacht.

Noch eine Reihe anderer Processe betheiligt sich in dem secundären Sinn wie die Reibung an der Produktion der im thierischen Organismus auftretenden lebendigen Kräfte. Das Nähere wird bei der Besprechung der Quellen der Muskelkraft beigebracht werden. Hier soll nur daran erinnert werden, dass durch »Umlagerung der Atome« in einer chemischen Verbindung schon grosse Mengen von lebendiger Kraft geliefert werden können, wie das oben angeführte Beispiel von dem unter Wärmeentwickelung eintretenden Uebergang von Cyan in Paracyan lehrt. Diffusion, Imbibition, die je nach den Lebenserscheinungen der Gewebe verschieden stark sind, Veränderung der Cohäsion und Elasticität sind als Kraftquellen bekannt, die in dem animalen Organismus ihre Wirkungen entfalten. In Veränderungen der angedeuteten mechanischen Verhältnisse der Organe speichern sich die aus dem Stoffwechsel stammenden Kräfte zum Theil auf. Die Kraftentwickelung der Organe (Muskeln, Nerven etc.) hat ihre nächste Quelle, neben dem fortschreitenden Stoffwechsel, theilweise in derartigen mechanischen kraftliefernden Veränderungen, die wir bei Arbeitsleistung in den Organen eintreten sehen.

Mechanische Arbeitsleistung durch Contractilität der Zellen, Flimmerzellen.

Unter den lebendigen Kräften, die wir von der animalen Zelle entwickelt sehen, steht die mechanische Arbeitsleistung durch Contractilität oben an. Wärme- und Electricitätsentwickelung in den Zellen und den Organen finden in der Folge im speciellen Theil ihre ausführliche Darstellung.

Wir sehen die Erscheinungen der Contractilität an das eiweissreiche Zellenprotoplasma geknüpft. Ueberall, wo wir mechanische Leistungen als Eigenbewegungen der Zellen — Locomotionen — oder Bewegung grösserer Organe oder des Gesammtkörpers antreffen, beruhen diese auf Gestaltsveränderungen des Protoplasma.[1]

Die Ausdrücke: Contraction und Contractilität beziehen sich zuerst auf die glatten Muskelzellen und quergestreiften Muskelschläuche. Diese zeigen auf Reize eine Verkürzung und Verdickung, sie ziehen sich zusammen, werden mehr oder

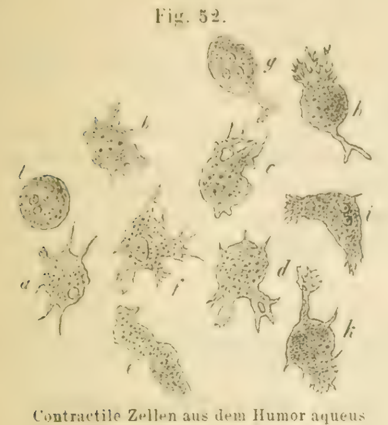
weniger kugelig, und können dadurch, weil sie im Ruhezustand bandartige Längen besitzen, entferntere Organtheile, an denen sie mit beiden Enden befestigt sind, einander annähern.

Die Gestaltsveränderungen der übrigen Zellen, welche die neuere Forschung als contractil erkannte, sind davon principiell nicht verschieden. Die Contraction des Protoplasma ist entweder eine totale oder eine partielle. Im ersteren Fall nimmt die ganze Masse die Kugelgestalt an, oder nähert sich derselben möglichst. Viel gewöhnlicher sind partielle Contractionen, die in mannigfachen Formveränderungen bestehen, oder in Bewegungen von Flüssigkeiten in dem Protoplasma. Diese letzteren sollen durch partielle Contractionen des Protoplasma, die Heidenhain mit den peristaltischen der Darmmuskulatur vergleicht, hervorgerufen werden. Das aktive Aussenden von Fortsätzen aus der Zelle geschieht ebenfalls durch partielle Contraction. Der Ruhezustand der Zelle ist bei freien Zellen meist mit der kugeligen Form verbunden, bei verbundenen und freien stets mit der Form, in welcher sich alle auf die Zelle einwirkenden Kräfte das Gleichgewicht halten. Gehen wir der Einfachheit wegen von der kugeligen Gestalt der Zelle aus, so erfolgen die partiellen Contractionen des Protoplasma stets in peristaltischer Weise, indem sich in der Richtung grösster oder kleinster Kreise der kugeligen Zellenoberfläche das Protoplasma zusammenzieht. Diese regelmässige Form der Contractionen bei allen Protoplasmakörpern lässt auf eine ganz regelmässige und übereinstimmende Structur desselben schliessen. Die Zellvermehrung durch Theilung des Protoplasmas hat man schon seit längerer Zeit als ein Contractionsphänomen aufgefasst. Hier findet zunächst eine partielle Contraction in der Richtung eines grössten Kreises statt, welche die der Theilung vorausgehende biscuitförmige Einschnürung hervorruft. Schreitet die Contraction nach rechts und links von dem primär contrahirten grössten Kreisabschnitte fort, so entsteht die Wurstform der Zelle, contrahirt sich das Protoplasma in der Richtung aller seiner grössten Kreise, so entsteht die Kugelform der Contraction. Beginnt die Protoplasmaconcentration an der Zellenoberfläche an einem kleinsten Kreise, und schreitet sie auf grössere Kreise fort, so entstehen mehr oder weniger feine Ausläufer, die durch Nachlassen der Contraction wieder eingezogen werden können. Formveränderungen, die mit voller Gewissheit auf Contractilität deuteten, sind bis jetzt fast nur noch an den Nervenzellen und rothen Blutkörperchen vermisst. Sonst zeigen wohl alle jugendlichen Zellen, namentlich so lange die Grenzschichten des Zellinhaltes noch nicht zu einer festeren Membran erhärtet sind, Bewegungserscheinungen. Sehr lebhaft sind die Bewegungserscheinungen an befruchteten Eiern (Fischeiern).

Am bekanntesten sind amöboide Gestaltveränderungen an jenen im Tode kugeligen, freien Zellen, die im thierischen Körper so vielseitig vorkommen und als farblose Blutkörperchen, Lymph- und Chyluskörperchen, Schleimkörperchen, Eiterkörperchen, Wanderzellen beschrieben werden (Fig. 53). Ihre Contractionen sind lebhaft bei einer Temperatur, welche der des lebenden Körpers entspricht oder sehr wenig höher ist. In wasserreicheren Flüssigkeiten ist die Contractilität der Körperchen eine lebhaftere als in concentrirteren (R. Thoma). Leichter als an diesen Zellen aus den Flüssigkeiten des Menschen- und Säugethierkörpers können die fraglichen Bewegungen an den analogen Zellen vom Frosch be-

obachtet werden, namentlich an Eiterkörperchen aus der wässerigen Flüssigkeit des Auges bei künstlicher Hornhautentzündung. Bringen wir, nicht ohne Erfüllung gewisser Vorbedingungen, ein Tröpfchen dieser Flüssigkeit unter das Mikroskop, so zeigen ihre Zellen die verschiedensten zackigen Gestalten (Fig. 52).

Fig. 52.



Contractile Zellen aus dem Humor aqueus des entzündeten Froschauges.

Fig. 53.



Contractile farblose Zellen des menschlichen Blutes; *a* 1—10 auf einander folgende Formveränderungen einer Zelle im Laufe von 40 Minuten; *b* eine sternförmige Zelle.

Mehr träg oder rascher sehen wir die Form dieser Ausläufer und Zacken sich verändern. Aus dem Zellenkörper treten dünne, fadenförmige Fortsätze oft ziemlich rasch hervor, andere breitere verästeln sich. Berühren sich solche ausgesendete Aeste benachbarter Fortsätze, so fliessen sie in einander und bilden zierliche Maschenräume. Andere Ausläufer verkürzen sich dagegen und ziehen sich ganz in den Zellenleib zurück. Im Zelleninhalt zeigt sich ein Strömen der Protoplasmakörnchen. Erst bei dem Eintritt des Todes lässt dieses Bewegungsspiel nach, die Zelle wird rundlich, kugelig und nimmt so die Form an, die man früher allein für sie charakteristisch hielt. An den Zellen des lebenden Bindegewebes und an den sternförmigen Zellen der Hornhaut haben Kühne u. A. ein ähnliches Spiel von Bewegungserscheinungen gesehen. Auch Drüsen- (Leber-) Zellen sollen derartige Bewegungen zeigen. Kölliker sah Saftströmungen in animalen Zellen (in Zellen von Polyclinium stellatum und den Knorpelzellen der Kiemenstrahlen von Branchyomma), die, wie analoge Erscheinungen bei Pflanzenzellen, auf Strömungen des Protoplasma vom Kern gegen die Peripherie beruhen.

An den **Wimper- oder Flimmerzellen** gewisser Epithelien: Athemorgane vom Naseneingang bis in die feinsten Bronchien, in den Geschlechtsorganen von den Tuben bis zum Muttermund, in den Hirnhöhlen, stehen feine Härchen an der Oberfläche eines Theiles der Zellmembran: die Wimperhärchen oder Flimmercilien. So lange diese Zellen leben, sind die Härchen in fast unablässiger schwingender Bewegung begriffen. Auch diese Bewegungen scheinen auf Contractionsphänomenen des Zellenprotoplasma zu beruhen, in welche neuere Beobachter die »Wurzeln« der Cilien verfolgt haben wollen (Valentin, Buhlmann, Friedreich, Eberth u. A.). Eine Einwirkung des Nervensystems scheint nicht stattzufinden. Die Härchen können durch ihre Bewegungen leichte

Körperchen, Schleim etc. in bestimmter Richtung fortschleudern; man kann diese Bewegung kleiner Körperchen, z. B. aufgestreuter Kohlestäubchen, auf der Mundschleimhaut des Frosches sehr leicht beobachten. Diese Bewegungen werden durch Wärme (Calliburces u. A.) beschleunigt, ebenso durch electrische Ströme, gleichgültig von welcher Richtung. Uebrigens ist die Kraft, welche sie dabei entwickeln, nicht ganz gering. Bowditch berechnet dieselbe für je 1 □cm Oberfläche flimmernde Schleimhaut des Frosches zu 6,805 Grammmillimeter in der Minute; auf ihr eigenes Gewicht bezogen sei ihre Arbeitsleistung 35 mal kleiner als die quergestreifter Muskeln.

An Kernen von Zellen zeigen sich bei höheren Thieren selten Bewegungen. Die Lebensbedingungen der Samenfäden oder Zoospermien sind genau die gleichen, welche für die Flimmerbewegung aufgefunden wurden. Die Bewegung des Schwanzes der Zoospermien ist ganz analog der der Cilien der mehrhaarigen Flimmerzellen; der Samenfaden kann als eine Flimmerzelle mit nur einer Cilie angesprochen werden.

In den Pigmentzellen der Frösche, in den Knorpelzellen, die beide auch contractil sind, in den Eiterkörperchen, weissen Blutkörperchen, Schleim- und Speichelkörperchen finden sich die Inhaltskörnchen in einer Molekularbewegung, die mit dem Leben der Zelle schwindet. Es ist wahrscheinlich, dass diese Körnchenbewegung theilweise denselben Grund hat, wie die Molekularbewegung, die man an unorganischen, sehr feinen Niederschlägen in Flüssigkeiten wahrnimmt. Mit dem Absterben der Zellen tritt meist ein Festwerden des flüssigen Inhalts und damit Molekularruhe ein.

v. Recklinghausen, Engelmann u. A. beobachteten zuerst an den contractilen Körperchen von der Froschhornhaut eine Ortsveränderung innerhalb des Gewebes, sie schieben sich durch Gewebslücken hindurch und legen so nicht ganz langsam ziemliche Strecken zurück: Wanderzellen im Gegensatz zu den fixen Hornhautkörperchen. Sie wechseln dabei fortwährend ihre Gestalt, indem sie sich dem engen Raum anpassen. Cohnheim lehrte uns, dass die weissen Blutkörperchen aus den Gefässen aus- und in die Gewebe einwandern können.

Häckel, Recklinghausen, Lieberkühn u. A. sahen Körnchen von zerriebenem Zinnober, Karmin, Indigo, kleine Fettmoleküle der Milch von Zellen mit amöboider Bewegung in ihr Protoplasma aktiv aufgenommen werden. An die ausgesendeten Zellenfortsätze hängen sich die Körnchen an, das Protoplasma »umfliesst« sie und hüllt sie ein; werden die Fortsätze eingezogen, so gelangen mit ihnen die Körnchen in das Protoplasma. Besonders deutlich sieht man diesen Vorgang der Zellenfütterung an den farblosen Zellen des Blutes, der Lymphe, des Eiters. Im lebenden Organismus sehen wir auch grössere geformte Massen in das weiche Zellenprotoplasma eindringen: eingedrückt werden: Farbstofftrümmer, Fettkügelchen, selbst ganze Blutkörperchen (blutkörperhaltige Zellen (W. Preyer) finden wir im Zelleninnern eingebettet. Die Colostrumkörperchen der Milch, welche auch aktive Contractilität zeigen, geben dagegen ihre Fettkörnchen aktiv ab, so dass sonach Aufnahme und Abgabe von Stoffen von Seite des Protoplasma als ein aktiver Contractionsvorgang erscheint (Stricker).

Die Stoffaufnahme und das aktive Wandern der Zellen öffnen dem Blick

eine neue Welt minimaler Vorgänge (Frey). Amöboide Zellen, die wir in thierischen Flüssigkeiten und Geweben so häufig finden, ohne uns ihr Vorkommen vollkommen erklären zu können, können aus tiefer gelegenen Organpartien ausgewandert sein. Geformte Partikelchen von Ferment- und Ansteckungsstoffen können, in Amöboidzellen aufgenommen und von diesen nach entfernten Lokalitäten des Körpers gebracht, zu schweren Folgen für den Organismus führen.

Die Contractilitäts-Erscheinungen des Protoplasma sind offenbar in vielen Fällen von dem Einfluss des Nervensystems unabhängig, wie sich aus der Thatsache ergibt, dass auch freie, einzelne Zellen solche Bewegungen zeigen. In anderen contractilen Zellen und Zellenderivaten: glatten und quergestreiften Muskeln, Pigmentzellen der Batrachier, wirkt Nerveneinfluss normal bei der Contraction mit. Der motorische Nerv tritt hier in mehr oder weniger directe Verbindung mit dem contractilen Protoplasma.

Bedingungen der Contractilität des Protoplasma.

Man hatte bisher vorzugsweise die chemisch-physikalischen Lebenserscheinungen der animalen Zellengebilde an dem Muskelgewebe untersucht. Die neueren Untersuchungsresultate erstrecken sich auf die Lebensbedingungen des Nervengewebes und einzelner Zellen. Im Allgemeinen zeigt sich eine ungemeine Uebereinstimmung in den Lebensbedingungen der verschiedensten Zellen und Zellenabkömmlinge. Nach den Untersuchungen von Kühne, Engelmann u. A. zeigt sich eine solche in der angedeuteten Richtung zwischen dem Protoplasma der einzelnen Zellen und den Muskeln; dieselbe Behauptung lässt sich auch zwischen Zellenprotoplasma und Nerven aufstellen (cf. Nerven). Die Bedingungen der Contractilität des Protoplasma sind die Hauptlebensbedingungen aller Zellen und Zellenabkömmlinge.

Die Contractilität des Protoplasma ist vor allem abhängig von seiner normalen chemischen Zusammensetzung. Alles, was Gerinnung in den Eiweisskörpern des Protoplasma hervorruft, ist der Contractilität feindlich. Bei dem Tode der Zellen häuft sich in ihnen eine freie Saure an, welche Gerinnselausscheidungen (z. Th. Myosingerinnung) verursacht. Diese Gerinnungen sind die directe Ursache des Aufhörens der Contractilität absterbender Zellen. Alle Einflüsse, welche eine Säureanhäufung in der Zelle bedingen, wie starke Thätigkeit, übermässig gesteigerte Wärmezufuhr, vernichten oder schwächen diese Lebenserscheinungen ebenso wie direkte Applikation von verdünnten Säuren (Huizinga). Auch die Kohlensäure, welche im Verlaufe des allgemeinen Zellenlebens sich fortwährend bildet, hebt schon in geringen Mengen die Contractilität auf. Durch Entfernen der Kohlensäure (z. B. durch einen Strom von Wasserstoffgas) kehrt oft die Contractilität zurück, so lange noch keine tödtlichen Veränderungen des Protoplasma eingetreten sind. Die physiologische Bedeutung der einen Seite der Zellenathmung, der Kohlensäureausscheidung, ist dadurch erklärt. Schwache Alkalien lösen die Wirkung der schwachen Säuren, auch der Kohlensäure wieder, doch sind auch sie für sich allein nicht ganz unschädlich; haben sie Stillstand verursacht, so kehrt die Bewegung durch Hinzuführung schwacher Säuren (Neutralisation) zurück. Destillirtes Wasser kann ebenfalls Gerinnung des Protoplasma hervorrufen, da ein Theil der Eiweisskörper desselben nur in Salzen gelöst ist. Etwa bei 40° C. tritt die Veränderung des Protoplasma durch Wärme, eine Art »Starre«, ein Festwerden durch Gerinnung ein, wie wir das bei den Muskeln noch näher kennen lernen werden. Diese »Wärmestarre« vernichtet endlich die Erregbarkeit definitiv. Die Contractilität ist weiter abhängig von einer Athmungs-Aufnahme von Sauerstoff in die Zellen. Sauerstoffmangel macht das Protoplasma bald bewegungslos, ebenso wirken eine Reihe giftiger Stoffe: Alkohol, Chinin etc.

Das Protoplasma wird zu seinen Bewegungen angeregt durch Reize, es sind dieselben, die wir auch für Muskel- und Nervengewebe in dem gleichen Sinne wirksam finden werden. Im Allgemeinen sehen wir, dass alle diejenigen Agentien, welche **rasch** eine bedeutendere Aenderung in der **Lebensenergie** des Protoplasma hervorrufen, Reize sind und Contractionen bewirken. Diese Veränderung der Lebensintensität kann eine Schwankung nach aufwärts oder nach abwärts sein. So sehen wir Wärme und Electricität das Protoplasma zu Bewegungen anregen, in einer Intensität angewendet, in welcher sie die Lebensenergie erhöhen, wie wir oben schon bei der Betrachtung der Flimmerbewegung sahen; so sehen wir Kälte und mechanische Alterationen, übermächtige Wärme und Electricität als Reize wirken, obwohl sie die Lebensenergie des Protoplasma vernichten oder wenigstens herabsetzen. Es steht der Bewegung des ruhenden Protoplasma eine Hemmung entgegen, die zum Theil in der Wirkung der »ermüdenden Stoffe«, zum Theil in der Stärke der in dem Protoplasma fliessenden electrischen Ströme beruht. Diese Hemmung wegzuräumen, ist Aufgabe der Reize; alle haben sonach, wie das für die Nerven definitiv erwiesen ist, eine Erhöhung der Erregbarkeit des Protoplasma und Schwächung der elektromotorischen Eigenschaften als erste Wirkung, der erst dann der **Eintritt der wahren Erregung folgt.**

Bei dem Zellenprotoplasma sehen wir unter gewissen Umständen ein Schwächerwerden der aktiven Thätigkeit, endlich ein Aufhören derselben eintreten. Das Sistiren der Protoplasmabewegungen kann entweder ein definitives sein: Tod der Zelle, oder es kann möglicherweise wieder in Bewegung übergehen: Ermüdung der Zelle. Beide Vorgänge haben insofern eine Aehnlichkeit, als sie auf analogen, primär den gleichen chemischen Veränderungen des Protoplasma beruhen. Diese Veränderungen bestehen bei der Ermüdung 1) in Anhäufung gewisser, die Protoplasmabewegung hindernder Stoffe: ermüdender Stoffe, von denen für das Zellenprotoplasma die bei dem Umsatz desselben entstehenden fixen Säuren (z. B. Milchsäure etc.), die gasförmige Kohlensäure und die Kalisalze auf ihre Wirkung näher untersucht sind (J. Ranke); 2) in Mangel an Sauerstoff. Eine Ermüdung aus Mangel an zersetzbarem Material ist bis jetzt noch nicht beobachtet worden; obwohl von vielen Physiologen angenommen, ist sie mehr als unwahrscheinlich. Durch Entfernung der ermüdenden Stoffe, meist schon durch Neutralisation der Säuren oder Alkalien, und durch Neuzufuhr von Sauerstoff verschwindet die Ermüdung. Haben chemische Veränderungen im Protoplasma zu Gerinnungen der Albuminate geführt, so geht die Ermüdung in Tod über. Künstlich kann aber auch die Gerinnung manchmal wieder gelöst und damit schon scheinbar **abgestorbenen Zellen die Erregbarkeit zurückgegeben werden.**

Die Bewegung der Flimmerzellen, welche neuerdings näher studirt worden ist, verdient eine eigene Betrachtung, obwohl sie in ihren Bedingungen mit den allgemeinen Gesetzen der Protoplasmabewegung animaler Zellen übereinstimmt. Engelmann fand bei seinen Untersuchungen der Flimmerbewegung bei Wirbelthieren, vor allem bei dem Frosch, dass unter normalen Verhältnissen jedes Flimmerhaar in einer senkrecht auf der Oberfläche der Zelle stehenden Ebene schwingt. Die Schwingungsrichtungen benachbarter Flimmerhaare sind unter sich und im Allgemeinen der Längsaxe des Organs, in dem sich Flimmerzellen finden, parallel. Jedes Flimmerhaar macht normal wenigstens 12 ganze Schwingungen in der Secunde. Jede ganze Schwingung besteht aus zwei halben Schwingungen ungleicher Dauer, die Contraction des Haars dauert länger als die Erschlaffung. Erschlaffung und Contraction pflanzen sich abwechselnd in Form einer Welle mit der Geschwindigkeit von wenigstens 0,24 mm in der Secunde peristaltisch über das Haar fort. Aus dem lebenden Organismus entfernte Flimmerzellen (Flimmerhaare) werden auch in indifferenten Flüssigkeiten (Blutserum, Kochsalzlösung von 0,6—1%) nach und nach starr, meist werden die oberen Theile der Haare zuerst bewegungslos, dadurch werden die Haarbewegungen »hakenförmig«, die Haare beugen sich wie im Knie; im umgekehrten Falle werden die Bewegungen »pendelnd«, durch unsymmetrische Erstarrung wechselt die Bewegung ihre Richtung. Dem Eintritt der Starre geht ein Stadium der Ermüdung voraus, die Geschwindigkeit der Contractionsbewe-

gung und die Grösse der Contraction nimmt ab. Die Starre beruht auch hier theils auf Mangel genügender Sauerstoffzufuhr, theils auf dem Eintritt von Gerinnung der Eiweissstoffe des Protoplasma, theils auf Anhäufung von Säure ermüdenden Stoffen). Nach den Mittheilungen Kühne's ist die Starre theils als fortgesetzte krampfhafte tetanische Contraction des Protoplasma, theils als wahre Todesstarre aufzufassen. Die Beobachtungen von Calliburces, dass die Flimmerbewegungen beschleunigt werden durch Erwärmung auf etwa 30°, bestätigte Roth; höhere Temperaturen, beim Frosch 44°—45°, bewirken Stillstand, der bei Abkühlung wieder aufhört, bei noch höheren Graden und längerer Einwirkung aber beständig ist (Tod). Kühne hält den vorübergehenden Stillstand dem »Wärmetetanus«, den bleibenden der »Wärmestarre« der Muskeln für entsprechend. Kälte hemmt ebenfalls anfänglich vorübergehend, später dauernd die Bewegung, so dass sie durch Erwärmen nicht wieder hervorgerufen werden kann. Der Grad, bei welchem vorübergehender oder definitiver Stillstand eintritt, ist verschieden. Gefrorene Flimmerzellen bewegen ihre Cilien manchmal nach dem Aufthauen noch kurze Zeit. Die Wirkung der Electricität auf die Flimmerbewegung wurde von Engelmann, J. Kistiakowski und A. Stuart beobachtet. K. untersuchte zuerst mit unpolarisirbaren Electroden. Er beobachtete das Wandern eines an einem Kokonfaden aufgehängten Siegellackknöpfchens, das die abpräparirte Gaumenhaut des Frosches lose berührte, auf dieser hin. Engelmann construirte für die Beobachtungen eine Flimmeruhr und Flimmermühle. Konstante Ströme jeder Richtung beschleunigten die Flimmerbewegung und damit die Bewegung des kleinen Siegellacksignals; dasselbe trat durch Inductionsströme ein. Die Beschleunigung überdauerte die Ströme einige Zeit. Natürlich oder künstlich z. B. durch äusserst verdünnte Säuren ermüdete, sich langsam oder gar nicht mehr bewegende Flimmerzellen können durch rasch verlaufende positive oder negative Schwankungen konstanter electrischer Ströme oder durch Inductionsströme erregt werden, ganz wie Muskeln und Nerven (Engelmann); man beobachtet auch ein Stadium der latenten Reizung (cf. Muskel), dessen Dauer bei sehr schwachen Strömen bis auf 5 Secunden und mehr anwachsen kann. Sehr starke electrische Schläge oder fortgesetzt einwirkende Wechselströme vernichten die Cilienbewegung. Gegen chemische Einflüsse, z. B. Wasserentziehung und Wasserimbibition durch Veränderung der Concentration der bespülenden Flüssigkeit ist die Flimmerbewegung sehr empfindlich, Wiederherstellung der normalen Concentration ruft oft die Bewegung wieder hervor. Die Wirkung der Säuren und Alkalien ist die oben angegebene, gleichgültig, ob sie als Flüssigkeiten oder Gase einwirken. Säuren wirken schon in grösserer Verdünnung schädlich als Alkalien; der Stillstand durch verdünnte Säuren kann durch verdünnte Alkalien wieder aufgehoben werden und umgekehrt. Der Kohlensäurestillstand kann durch Entfernen des Gases durch einen Wasserstoffstrom wieder verschwinden (Engelmann). Ammoniak, Kali, Natron wirken direct als Reize, insofern sie bei »ermüdeten Flimmerzellen« die Bewegungen wieder hervorrufen, wie electrische Stromschwankungen, ebenso Wärme. Die beginnende Wärmestarre und die natürliche Ermüdung, bei denen sich also offenbar Säure im Zellenprotoplasma bildet, kann nicht durch schwache Säuren, wohl aber durch schwache Alkalien aufgehoben werden. Mangel an Sauerstoff hebt die Flimmerbewegung ziemlich rasch auf. Zufuhr von Sauerstoff oder atmosphärischer Luft bringt die Bewegungen zurück. Kühne bewies, dass die Flimmerzellen dem Oxyhämoglobin den Sauerstoff entziehen und auf dessen Kosten ihre Wirkung fortsetzen können: die Flimmerbewegung steht still, sobald die Hämoglobinlösung, in der sich Flimmerzellen bewegten, die beiden Streifen des Oxyhämoglobins nicht mehr zeigt; die Bewegung beginnt wieder mit der Neuzuführung von Sauerstoff zu dem Hämoglobin. Das Protoplasma zeigt also eine sehr kräftige Anziehung für Sauerstoff, den es nicht nur frei aufnehmen, sondern auch aus schwachen Verbindungen für seine Zwecke frei machen kann.

Das Verhalten des Flimmerzellen- und des anderen animalen Protoplasma ist sonach mit dem der contractilen Fasern und Nerven (J. Ranke) ganz übereinstimmend: Engelmann hat auch eine regelmässige Electricitätsentwickelung an den Flimmerzellen wahrgenommen, die seinen Angaben nach dem Muskel- und Nervenstrom E. du Bois-Reymond's entsprechen soll.

Man hat sich vielfältig nach den Ursachen gefragt, welchen die Flimmerbewegung entspringt. Nach den Darstellungen, die wir oben gegeben, waren die Cilien selbst contractil, nach den Angaben Anderer durchsetzen die Cilien die Zellmembran, aus der sie hervorragen, und treten mit dem Protoplasma in Verbindung, so dass sie an den Bewegungen desselben entweder passiv theilnehmen oder vielleicht als Bestandtheile desselben aktiv. A. STUART will an gewissen Flimmercilien der Eolidinenlarven an Muskelfasern erinnernde Querstreifung, in dem Zellprotoplasma selbst eine sehr dichte Längsstreifung gesehen haben; bei den verlangsamten Flimmerbewegungen sah er den Kern der Zelle sich mit auf- und abwärts bewegen, was auf eine abwechselnde Contraction des Protoplasma deuten würde. Bei einigen Thieren sind Cilienbewegungen offenbar freiwillig und stehen unter dem Einfluss des Nervensystems wie die Wimperbewegungen an den Ruderorganen der Räderthiere: »Betrachtet man Thierchen, wenn sie die Bewegung anfangen, so sieht man immer deutlich ein Ausstrecken und Anziehen, ein Greifen der gekrümmten Wimpercilien, das aber alsbald in das Wirbeln übergeht, welches eine andere Art von Bewegung ist, als jenes Greifen« (EHRENBERG). Das »contractile Gewebe an der Basis der Cilien« kann wohl entweder »spontan« oder bei anderen Wesen unter Nerveneinfluss in Bewegung gesetzt werden. Bei den Wirbelthieren ist die Flimmerbewegung vom Nervensystem direct nicht abhängig, seine Bewegungen gehen bei Vernichtung der Nerventhätigkeit, wie es scheint, ungestört fort. Bei Vögeln und Säugethieren dauern bei 15° C. die Bewegungen 3/4—4 Stunden (VALENTIN), hören aber schon bei 5° auf. Normale Ermüdungserscheinungen der Flimmerbewegung zeigen sich an ausgeschnittenen Flimmermembranen und einzelnen Zellen; J. MÜLLER machte aber auch und zwar zuerst darauf aufmerksam, dass an den unverletzten Kiemen der Anneliden zuweilen grosse Strecken ganz ruhen, um nach einiger Zeit ihre Thätigkeit wieder zu beginnen. Die Ermüdung ist an sich noch kein Beweis für die Nervenwirkung, da das Protoplasma durch seine eigene Thätigkeit die chemischen Veränderungen der Ermüdung einleitet. — Ueber das Wesen der Contractilität und die dabei stattfindenden Kraftübertragungen vergleiche man, wie über andere naheliegende Fragen, bei Muskel.

Zur vergleichenden Anatomie. — Man hat neuerdings die Contractilität des Protoplasma an niederen Thieren und an Pflanzen untersucht. Bei der Besprechung der Flimmerbewegung wurden betreffende Beobachtungen schon erwähnt.

Die Untersuchungen KÜHNE's zeigen, dass die Amöben sich gegen die gleichen physiologischen Eingriffe, denen wir die Flimmerzellen aussetzten, sich ebenso wie diese verhalten. Sie haben keine Membran. Unter der Einwirkung von Schwankungen der Electricität nehmen sie Kugelgestalt an; sie verfallen in Tetanus; dasselbe ist durch Wärme der Fall, auch im Tode nehmen sie die kugelige Gestalt an. Auch Rhizopoden (Actinophrys Eichhorni), bei denen die Rindensubstanz aus einem »leichtflüssigen« Protoplasma besteht, zeigen das allgemeine Verhalten des Protoplasma gegen äussere Einflüsse. Sehr schwache Inductionsströme z. B. verursachen eine Einziehung der Pseudopodien durch allgemeine Contraction, Tetanus. Nach KÜHNE zeigen die Myxomyceten zweierlei Protoplasmabewegungen. Jeder Myxomycetenast zeigt ein rasches Fliessen der in der Axe enthaltenen körnchenreichen Flüssigkeit und eine Formveränderung des ganzen Fadens. Besonders wichtig sind seine Untersuchungen über die Bewegungserscheinungen in den Staubfadenhaaren der Tradescantia virginica; die Protoplasmaströmungen zeigen sich abhängig von der Contractilität des Protoplasma, das sich gegen chemische Einflüsse, Electricität und Wärme ganz dem animalen Protoplasma entsprechend verhält; das Strömen des Protoplasma hört sofort auf, wenn der Luftzutritt verhindert wird, sei es durch eine Oelschicht oder Wasserstoffatmosphäre; Kohlensäure bewirkt zunächst vorübergehenden, dann definitiven Stillstand der Bewegung, die überhaupt ohne Sauerstoff nicht bestehen oder eintreten kann; Sauerstoff ist unbedingt zur Erhaltung der Erregbarkeit erforderlich.

Molekularstructur organisirter Gebilde.

In dem ersten Capitel haben wir uns ein Bild von dem Bau der organisirten Gebilde zu verschaffen gesucht, so weit er sich direct der mikroskopischen Beobachtung darbietet. Die molekulären Vorgänge in den Organismen zeigen uns, dass wir an denselben noch eine weit feinere Structur annehmen müssen, als sie uns das Mikroskop sichtbar machen kann.

Ueber den molekulären Bau organischer Theile von Thieren und Pflanzen sind von Brücke, Nägeli, Sachs u. A. Untersuchungen angestellt worden.

Das Protoplasma, Zellmembranen, Kerne und alle Zwischenzellenmassen, alle organisirten Gebilde, bestehen in ihrem natürlichen lebensfrischen Zustande an jedem Punkte, den wir mikroskopisch noch wahrnehmen können, aus einem Gemenge flüssiger und fester Substanzen. Nach Brücke und Nägeli haben wir uns ihren Molekularbau so vorstellen, dass feste Massentheilchen, umgeben von einer von denselben angezogenen »Wasserhülle«, die organisirten Theile bilden. Die Massentheilchen mit ihren Wasserhüllen ziehen einander an, es bleiben aber zwischen ihnen »Molekularinterstitien«, molekulare Räume, welche durch Wasser erfüllt werden. Diese festen Massentheilchen haben wir uns nach dem Sprachgebrauch der Physik so klein zu denken, dass wir sie mit den stärksten Vergrösserungen uns nicht sichtbar machen können. Schon die einfachsten und kleinsten dieser Moleküle sind sehr complicirte chemische Gebilde, z. B. ein Eiweissmolekül, ein Molekül leimgebender Substanz oder Fett oder Zucker setzen sich aus den verschiedenen chemischen Bestandtheilen zusammen, in die wir sie zerlegen können. Diese Einzelmoleküle der chemischen Substanzen, welche durch die rationelle chemische Formel der Verbindung repräsentirt werden, treten zur Bildung grösserer fester Massentheilchen oder zusammengesetzter Moleküle in sehr verschiedener Anzahl zusammen, so dass unbeschadet der Unmöglichkeit, die Moleküle wegen ihrer Kleinheit sichtbar zu machen, diese relativ doch sehr bedeutende Grössenunterschiede zeigen können. Nach den Anschauungen Nägeli's sind die zusammengesetzten Moleküle, aus denen die organisirten Substanzen bestehen, krystallinisch und, wenigstens stets bei den Pflanzengeweben, doppeltbrechend und liegen lose, aber in bestimmter regelmässiger Anordnung neben einander. Im befeuchteten Zustande ist in Folge überwiegender Anziehung, wie gesagt, jedes mit einer Hülle von Wasser umgeben, im trockenen Zustande berühren sie sich gegenseitig. Aus dieser Anordnung der Moleküle ergibt sich, dass im Innern eines organisirten Gebildes dreierlei Arten von Kohäsionskräften thätig sind. Einmal werden die Einzelmoleküle (Nägeli's Atome) zu zusammengesetzten, für Wasser undurchdringlichen Molekülen vereinigt durch die gleiche Wirkung der Kohäsionskraft, welche sie in der anorganischen Natur zu Krystallen zusammentreten lässt. Es ziehen sich aber auch die mit Wasserhüllen umgebenen zusammengesetzten Moleküle unter einander selbst an und suchen sich einander möglichst zu nähern. Schliesslich wirkt auch noch die Anziehung der Oberfläche (oder Masse) des zusammengesetzten Moleküls auf das imbibirte Wasser und dieses bildet dadurch seine Wasserhülle um sich, wodurch dem Anziehungsbestreben der Nachbarmoleküle entgegengewirkt wird. Dass die Form der organischen festen Massentheilchen nicht kugelig oder ellipsoidisch sein kann, sondern polyedrisch sein muss, geht

schon daraus hervor, dass das in die organischen Gebilde imbibirte Wasser sich nicht nach allen Richtungen gleichmässig einlagert. Indem mehr Wasser in die organisirten Theile eindringt, oder indem denselben ein Theil ihres Wassergehaltes durch Austrocknung entzogen wird, sehen wir sie nicht nur Volumveränderungen, sondern auch Formveränderungen eingehen. Bei der Quellung, die im Allgemeinen Volumszunahme bewirkt, sehen wir einzelne Dimensionen verkürzt, andere dem entsprechend vergrössert werden. Es zeigt das, dass die Molekularkräfte im Innern der organischen Bildungen nach verschiedenen Richtungen hin verschiedene Intensität haben, was sich nur bei einer polyedrischen Form der zusammengesetzten Moleküle erklären lässt (Nägeli). Die Erscheinungen, welche die organischen Theile (der Pflanzen) im polarisirten Lichte zeigen, lassen sich (nach Nägeli, Schwendener, Sachs) nur erklären, wenn wir den Molekülen eine krystallinische Gestalt und Structur zuerkennen. Diese zusammengesetzten organischen Moleküle sind optisch zweiachsig.

An jedem einzelnen Punkte des organisirten Gebildes scheinen sehr verschieden zusammengesetzte Moleküle, getrennt von ihren Wasserhüllen, neben einander zu liegen, durch die Kohäsionskräfte der chemischen und physikalischen Anziehung einander genähert. Wir haben es bei diesen Verhältnissen mit einem labilen Gleichgewichte zu thun, das beständige Molekularbewegung voraussetzt zum Ausgleich der beständig eintretenden Störungen. Indem die Moleküle sich chemisch oder physikalisch verändern, werden sich die Anziehungen der einzelnen gegen einander und gegen ihre Wasserhüllen wesentlich modificiren müssen. Mit der Vergrösserung der zusammengesetzten Moleküle wird die Kraft, mit der sie auf das sie umgebende Wasser wirken, eine geringere, mögen wir in der Berechnung von der Masse des Moleküls oder von seiner Oberfläche die auf die Wasserhülle ausgeübten Anziehungskräfte uns ausgehend denken (Nägeli, Sachs). Dadurch kommen die festen Moleküle näher an einander zu liegen, die Kräfte, welche sie gegenseitig auf einander ausüben, werden in ihrer Wirkung verstärkt: die Dichtigkeit der Substanz nimmt zu, der Wassergehalt entsprechend ab. »Zersplittern« die festen Moleküle durch mechanische oder chemische Einflüsse zu kleineren Massentheilchen, so nimmt umgekehrt die Wassermenge, die um jedes Theilmolekül sich lagert, zu im Verhältniss zu der Menge, welche das grössere Massentheilchen um sich binden konnte, die Wirkung der kleineren, weiter von einander getrennten festen Massen aufeinander wird eine geringere, die Kohäsion und Dichtigkeit des Körpers nimmt ab. Die grössere oder geringere Dehnbarkeit sonst gleicher organischer Gebilde steht im directen Verhältniss zu ihrem Wassergehalt. Der Wassergehalt ist uns so direct ein Maass für die Grösse der festen Moleküle des betreffenden organischen Körpers (Nägeli). Noch reichlicher müssen die chemischen Veränderungen zur beständigen Molekularbewegung beitragen. Die Nothwendigkeit der beständigen Sauerstoffaufnahme für das organische Leben, wodurch fortlaufende Stoffumbildungen eintreten, müssen nicht nur die Anziehung verschiedener Moleküle auf ihre Wasserhüllen, sondern auch die Wirkungen der Moleküle auf einander wesentlich verändern, so dass nur durch ebenso beständige Ausgleichung der Wirkungen der Molekularkräfte das labile Gleichgewicht aufrecht erhalten werden kann. Das Leben der Organismen ist geknüpft an diese fortwährende Molekulararbeit, zu welcher die Kräfte aus dem Stoffwechsel geliefert werden.

Die äusserliche Ruhe, die wir an den lebenden organisirten Bildungen wahrnehmen, entspringt nur einer ununterbrochenen molekularen Veränderung, die das beständig gestörte innere Gleichgewicht beständig wieder herstellt.

Der beschriebene Molekularbau gibt uns Aufschluss darüber, wie fortwährend an jedem Punkt des Inneren gelöste und absorbirte Stoffe von aussen eintreten und nach aussen abgegeben werden können. *Wachsthum* und *Ernährung* beruhen im Grunde auf ganz analogen Vorgängen. In die Molekularinterstitien dringen Lösungen fester Stoffe und Gase aus den die organischen Gebilde, z. B. die Zellmembran umgebenden Flüssigkeiten ein nach den (unten zu besprechenden modificirten) Gesetzen der Endosmose für lebende organische Theile. Die in der Lösung enthaltenen kleinen Moleküle lagern sich entweder an schon vorhandene zusammengesetzte an, ihre Wasserhüllen durchbrechend, so dass diese durch Apposition ihren durch den Stoffwechsel gesetzten Verlust entweder ausgleichen oder übercompensiren können. Die einströmenden Moleküle können sich in den mit Wasser erfüllten Molekularzwischenräumen auch zu neuen zusammengesetzten Molekülen vereinigen, die eine gemeinschaftliche Wasserhülle um sich bilden und sich wie die schon früher eingelagerten durch Apposition vergrössern. Durch diese Einlagerung von neuen Molekülen werden andere Moleküle aus ihren alten Verbindungen gedrängt, sie weichen aus einander, es findet Umfangszunahme des organisirten Gebildes statt, es wächst in die Dicke und Länge. Indem Lösungen und Gase in das Innere der Gewebsbestandtheile eindringen oder dort sich durch chemische Umsetzung (Stoffwechsel) bilden, werden sie das Molekulargleichgewicht stören, sie werden Einflüsse nach verschiedenen Seiten entfalten und erfahren. *Die Ernährungsflüssigkeiten nehmen, so lange sie sich zwischen den Molekülen eines organisirten Gebildes befinden, direct Theil an der Erzeugung der Kräfte: — Molekularbewegung, Wärme, Electricität, die mit dem Leben untrennbar verknüpft sind —, sie sind integrirende Bestandtheile des lebenden Gewebes, in welches sie eingetreten sind.*

Die Ursachen der Flüssigkeitsströmungen durch organisirte Theile, z. B. Zellmembranen, Protoplasmabildungen, beruhen im Allgemeinen auf den anorganischen Gesetzen der Diffusion (Endosmose und Gasdiffusion), werden aber in ihrer Anwendung auf *lebende* Organtheile durch den beschriebenen Molekularbau und die Kräfteeinwirkungen, welche auf die durchpassirenden Lösungen von Seite der in ihrer Lebensbewegung befindlichen Moleküle stattfinden, wesentlich verändert. Nach dem *Absterben* treten Gleichgewichtszustände zwischen den Gewebsmolekülen in grösserem Maasse als im Leben ein, die *todten Gewebe verhalten* sich dann mehr oder weniger *anorganischen Bildungen analog.*

Die Kräfte, um welche es sich bei der *Kohäsion* der Moleküle in organischen Theilen handelt, sind sehr bedeutende, wie denn, wie wir sahen, überhaupt die *Molekularkräfte* sich durch starke Wirkungen auszeichnen. Das Wasser wird mit grosser Kraft bei der Imbibition angezogen. Nach JAMIN kann man die *Imbibitionskraft der Stärke und des Holzes* zu 5—6 Atmosphären Druck anschlagen. Bei der Imbibition findet eine bei trockenen organischen Substanzen, z. B. Stärke, leicht nachweisbare Wärmeerzeugung statt, die 2—3° C.

betragen kann. Das eintretende Wasser scheint sich also zu verdichten. Zu demselben Schluss kommt QUINCKE für die Imbibition thierischer Theile.

Die Untersuchungen von NÄGELI, SACHS, SCHWENDENER beziehen sich zunächst auf Pflanzengewebe; sie lassen sich aber ziemlich vollkommen auf den animalen Gewebsbau übertragen. BRÜCKE's Entdeckungen über den optischen Bau des Muskels zeigen, dass die Eigenthümlichkeiten des Molekularbaues sich auch in grösseren, sichtbaren Dimensionen wiederholen können. BRÜCKE's doppeltbrechende krystallähnlich gestaltete Fleischtheilchen, die er sich aus kleinsten Disdiaklasten zusammengesetzt denkt, sind in eine einfach brechende Zwischensubstanz eingelagert in analoger Weise, wie wir uns den molekularen Bau der Gewebe im Kleinsten zu denken haben.

Der Wassergehalt der Gewebe hat die Aufgabe der Vermittelung der gesammten Lebensvorgänge. Der Molekularbau der lebenden organisirten Bildungen, die Molekularbewegungen, die Einwirkung der Moleküle auf einander in chemischer und physikalischer Weise, der Stoffaustausch für Stoffwechsel, Ernährung, Wachsthum sind durch den Wassergehalt allein ermöglicht. Dasselbe gilt von der Entstehung und Verbreitung electrischer Ströme, da trockene organische Stoffe die Electricität nicht leiten. Die chemischen Vorgänge und die daraus resultirenden lebendigen Kräfte müssen dadurch sehr wesentlich beeinflusst werden, dass zur Vereinigung von Stoffmolekülen zuerst die Wasserhülle der Moleküle durchbrochen, die anziehenden Kräfte der Moleküle gegen ihre Wasserhüllen paralysirt werden müssen.

Hydrodiffusion. Lösung. Endosmose.

In grösseren Gewebspartien[1] haben wir neben den mit Flüssigkeiten erfüllten Molekularinterstitien noch gröbere, ebenfalls mit Flüssigkeiten angefüllte Gewebslücken, diese bilden feine oder weitere Canäle, welche die Gewebe und Häute durchziehen. Befinden sich auf beiden Seiten einer Membran wässerige Flüssigkeiten, so dass die Haut als Scheidewand dient, wie z. B. die Zellmembranen zweier an einander liegender, mit Flüssigkeit gefüllter Zellen, so ist demnach die auf diese Weise hergestellte Trennung der Flüssigkeiten keine absolute. Sie stehen durch die ebenfalls mit wässeriger Flüssigkeit gefüllten molekularen und gröberen Canäle der Haut mit einander in directer Verbindung, so dass wir in diesem Falle, wenn wir vor allem von der chemischen Einwirkung absehen, welche die durch organisirte Theile passirenden Lösungen erfahren, im Wesentlichen dieselben physikalischen Vorgänge der Mischung der Flüssigkeiten werden erwarten müssen, wie sie eintreten, wenn wir zwei wässerige Flüssigkeiten ohne Scheidewand mit einander in Berührung bringen.

Hydrodiffusion. — Zwei oder mehrere sich mischende, aber nicht chemisch zersetzende Lösungen, welche mit einander in directe Berührung gebracht werden, tauschen ihre Bestandtheile bekanntlich so lange mit einander aus, bis die dadurch entstandene Mischung überall vollkommen gleichartig ist. Die sich mischenden Flüssigkeiten durchdringen sich also gegenseitig vollkommen aus physikalischen Ursachen, welche in ihnen selbst gelegen sein müssen, da diese gegenseitige Durchdringung auch, wenn auch sehr langsam (HOPPE-SEYLER), stattfindet, wenn gar keine äusseren, sie unterstützenden Momente, wie Erschütterungen z. B., hinzukommen. Diese Mischung geht dem Gesetze der Schwere sogar entgegen vor sich. Von zwei specifisch verschieden schweren Flüssigkeiten, von denen die schwerere auf den Boden eines Glascylinders gebracht, die leichtere vorsichtig, ohne eine mechanische Mischung zu erzeugen, auf die erstere geschichtet wurde, durchdringt endlich die eine die andere ebenso, als wenn der Versuch umgekehrt stattfindet. Die schwerere Flüssigkeit steigt in die leichtere auf, die leichtere sinkt in die schwerere herab, und es entsteht endlich trotz des Hindernisses durch die Wirkung der Schwere eine vollkommen gleichartige Mischung. Als die physikalische Ursache dieser Mischung der tropfbaren Flüssigkeiten, die nach E. DU

1) Das Genauere über die ausserhalb des Organismus stattfindenden Vorgänge dieser Art findet sich z. B. bei A. FICK, Medicinische Physik S. 24 ff., zusammengestellt.

Bois-Reymond den Namen **Hydrodiffusion** trägt, muss eine gegenseitige physikalische Anziehung der Moleküle der gelösten oder flüssigen Körper angenommen werden. Die Colloidsubstanzen (Graham), z. B. Eiweissstoffe, zeigen die Bewegungen der Hydrodiffusion nur in sehr geringem Grade, sie bilden wie es scheint keine wahren Lösungen. Bei Vermeidung aller Erschütterungen fand Hoppe-Seyler aber den Diffusionsvorgang zwischen mischbaren Flüssigkeiten (Lösungen) überhaupt ausserordentlich langsam, die vollkommene Ausgleichung lediglich durch Diffusion würde für Flüssigkeitsschichten von 1—2 Decimeter Höhe Jahre erfordern. Die Diffusionsgeschwindigkeit wächst mit der Grösse der Berührungsfläche beider Flüssigkeiten, ebenso mit steigender Temperatur, sie ist um so grösser, je grösser der Concentrationsunterschied zwischen den gegen einander diffundirenden Schichten ist, je grösser der absolute Gehalt derselben an diffundirbarer Substanz. Zu diesen allgemeinen Einflüssen kommt nun aber noch ein specifischer, von der chemischen Natur der gegeneinander diffundirenden Flüssigkeiten resp. Lösungen abhängiger. Graham fand, dass bei gleichen Bedingungen Kalisalze stets rascher diffundiren als Natronsalze, dabei stellte sich weiter heraus, dass die Kalium- und Natriumsalze einbasiger Säuren stets rascher diffundiren als die zweibasiger Säuren und zwar stehen die Zeiten, welche zur Diffusion gleicher Mengen einbasiger und zweibasiger Salze des gleichen Metalls erforderlich sind, im Verhältniss der Quadratwurzeln einfacher Zahlen; das analoge Verhältniss ergibt sich bei Vergleichung der zur Diffusion nothwendigen Zeiten für gleiche Mengen Kalium- und Natriumverbindungen. Die Diffusion ist ein Mittel zur Trennung chemischer Mischungen und sogar chemischer Verbindungen. Die Diffusionsgeschwindigkeit, die Zeit, in welcher die Mischung der verschiedenen gelösten Stoffe vor sich geht, ist eine sehr verschiedene. Nach Maly spalten sich dabei gewisse saure Salze in neutrale Salze und freie Säure (cf. Magensaft), ebenso trennt sich Alaun in schwefelsaure Thonerde und Kaliumsulfat.

Lösung. — Zur Ueberführung fester Stoffe in den flüssigen und gasförmigen Zustand ist Wärme erforderlich. Die zur Lösung erforderliche Wärmemenge wird der Umgebung, zum grössten Theil dem Lösungsmittel selbst entzogen, worauf die Wirkungen der Kältemischungen beruhen. Die Menge der bei der Lösung eines festen Stoffes in einer Flüssigkeit latent werdenden Wärme muss wenigstens die gleiche, meist aber grösser sein als die, welche zum Schmelzen desselben Stoffes erforderlich ist. Das Experiment lehrt, dass bei der Lösung der Verbrauch an Wärme, die übrigen Faktoren gleich gesetzt, steigt mit dem Grade der Verdünnung der Lösung. Es gehört ein gewisser, correspondirender Aufwand von lebendiger Kraft dazu, die Moleküle weiter und weiter von einander zu entfernen. Die Fähigkeit, sich in Flüssigkeiten, besonders in Wasser zu lösen, ist für verschiedene Stoffe eine sehr verschiedene. Sie geht von dem Gewichte 0 bis zu sehr bedeutenden Werthen. Manche Stoffe lösen sich nur in heissen Flüssigkeiten, bei den meisten Stoffen steigt die sich lösende Menge für eine gegebene Flüssigkeitsmenge direct, bei anderen nach anderen Verhältnissen mit der Erhöhung der Temperatur. Einige sind sogar in höheren Temperaturen weniger löslich als in niederen (Eiweiss etc.). Durch die Gegenwart verschiedener Stoffe in der Lösungsflüssigkeit wird unter Umständen das sonst für reine Flüssigkeiten konstante Gewichtsverhältniss, in welchem sich ein Stoff zu lösen vermag, verändert, erniedrigt oder erhöht. Das Wasser verbindet sich durch Kohäsion mit den Molekülen des gelösten Stoffes, wie das schon aus den obigen Darstellungen des molekularen Gewebsbaues sich ergibt. Dadurch verändern die Flüssigkeiten, welche Stoffe in Lösung enthalten, ihren Gefrier- und Siedepunkt. Das Wasser in Lösungen gefriert bei einer niederen und siedet bei einer höheren Temperatur als das reine Wasser. Durch die Veränderung des Aggregatzustandes der Lösungsflüssigkeit werden die Moleküle des festen Stoffes und der Lösung getrennt; beim Gefrieren scheidet sich der gelöste Stoff analog ab, wie er bei der Verdunstung zurückbleibt, es ist verständlich, dass zur Veränderung des Aggregatzustandes plus der Trennung der Moleküle eine andere Summe von Kräften erforderlich ist, als zur Veränderung des Aggregatzustandes allein.

Der Vorgang der Lösung fester Stoffe in Flüssigkeiten findet in der Zelle und im gesammten thierischen Organismus die mannigfaltigste Anwendung. Die meisten Stoffe, welche

wir als Nahrungsmittel kennen gelernt haben, sind an sich fest und müssen, um zu Organbestandtheilen werden zu können, erst gelöst werden. Der Verbrauch der Organstoffe selbst ist wieder mit einer Verflüssigung verbunden; die verbrauchten Stoffe werden zum grossen Theil in wässeriger Lösung ausgeschieden: im Harn, im Schweiss.

In dem thierischen Organismus findet Mischung von Lösungen verschiedener Stoffe durch Diffusion, ohne unterstützende Bewegungen, Erschütterungen und ohne dass sie durch eine Scheidewand von einander getrennt wären, wohl niemals statt, auch im Zellinhalte selbst sehen wir die oben z. B. S. 117 erwähnten Protoplasmaströmungen mechanisch mitwirken. In grösseren Flüssigkeitsmengen, wie im Blute, in der Lymphe, im Harne wird die Mischung wesentlich durch mechanische Beihülfe unterstützt, durch Erschütterungen, wie sie z. B. bei der Blutbewegung eintreten.

Osmose. — Man bezeichnet den Vorgang der Diffusion zweier Flüssigkeiten in einander, welche durch eine für beide durchgängige, gegen beide chemisch indifferente leblose Membran geschieden sind, als Osmose. Das Endresultat der Osmose ist, wie schon oben angedeutet, ganz das gleiche wie das der Diffusion zwischen zwei unmittelbar sich berührenden Lösungen. Die beiden durch eine Scheidewand getrennten Flüssigkeiten gleichen ihre Unterschiede ebenso vollkommen wie jene unter einander aus, ihre Mischung wird endlich eine gleichmässige. Es finden Strömungen durch die Scheidewand hindurch von der einen Seite zur anderen statt. Hierbei zeigt sich das bemerkenswerthe Verhalten, dass die Flüssigkeitsmengen, welche von einer Seite zur anderen durch die Diffusionsströme geschafft werden, meist nicht vollkommen gleich sind; der Diffusionsstrom in der einen Richtung überwiegt gewöhnlich den in der anderen. Bei wissenschaftlich messenden Versuchen über Osmose bedient man sich nach dem Vorgange von Jolly, um ein Maass für den ungleichen Werth der verschieden gerichteten Ströme zu erlangen, der Verhältnisszahl zwischen den Gewichten der in gleicher Zeit und unter sonst gleichen äusseren Bedingungen nach der einen und der anderen Seite übergegangenen Flüssigkeitsbestandtheile und nennt diese Verhältnisszahl das osmotische Aequivalent. Dasselbe ist verschieden für verschiedene Stoffe. Zu einer Lösung von kohlensaurem Natron geht z. B. eine weit grössere Wassermenge über als zu einer gleich concentrirten Lösung von Kochsalz. Die die Scheidewand: Diaphragma in entgegengesetzter Richtung durchwandernden Ströme stehen dabei in keinem directen Verhältniss zu einander. Man könnte, wie mir scheint, mit Vortheil das osmotische Aequivalent auch als osmotischen Diffusionswiderstand bezeichnen.

Harzer gewann folgende Werthe für die osmotischen Aequivalente einiger wichtiger Stoffe:

	osmotisches Aequivalent:
kohlensaures Natron	32,788
phosphorsaures Natron	27,915
kohlensaures Kali	19,531
schwefelsaures Natron	8,866
Chlorcalcium	5,889
Chlorkalium	3,891
Chlornatrium	3,710
Harnstoff	1,551
Weinsäure	2,915

Nach Untersuchungen von Ludwig und Cloëtta ist das osmotische Aequivalent je nach dem Concentrationsgrade der diffundirenden Lösung wechselnd. Auch die Temperatur hat einen bedeutenden Einfluss, ebenso die Membran, welche als Scheidewand diente. Die Grösse des Diffusionsstromes schwankt auch dann, wenn anstatt Wasser eine Salzlösung entgegengesetzt ist; dagegen stören sich die Diffusionsströme zweier gegenseitig indifferenter Salze wie Kochsalz und schwefelsaures Natron nicht, wenn sie in einer und derselben Flüssigkeit gelöst sind, und also gleichzeitig nach derselben Richtung die Scheidewand durchsetzen. Es geht von beiden Salzen die gleiche Menge in das Wasser über — und dafür Wasser herüber —,

als wenn sie einzeln diffundirt hätten. Nach GRAHAM's Beobachtungen gehen gewisse Substanzen, die sich meist durch Mangel der Krystallisirbarkeit und Grosse der Molekule auszeichnen wie Eiweiss, Gummi, aber auch das krystallisirbare Hamoglobin nicht osmotisch durch Membranen hindurch. GRAHAM nennt diese Substanzen Kolloidsubstanzen im Gegensatz zu den osmotisch wandernden Krystalloidsubstanzen. Er grundete darauf eine Trennungsmethode: Dialyse.

Für eine Erklärung des verschiedenen osmotischen Aequivalentes wird meist die Annahme gemacht, dass die Scheidewand den verschiedenen durchtretenden Losungen verschiedene Widerstände entgegensetzt. Je grösser der Widerstand ist, welchen eine Salzlosung von der Scheidewand erfährt, desto geringer wird in der Zeiteinheit, z. B. einer Stunde, die Menge sein müssen, die durch die Scheidewand hindurch getreten ist. Ist dieser Widerstand fur einen Stoff unendlich gross, z. B. für Kolloidsubstanzen, so findet gar kein Eindringen desselben in die Scheidewand statt. Die Grundbedingung der Diffusion ist also die, dass die Scheidewand gleichzeitig den verschiedenen zur Diffusion dargebotenen Lösungen den Durchtritt gestattet, d. h. dass sie sich mit ihnen gleichzeitig imbibirt. Als Grund der freien Diffusion kann die Anziehung der Lösungsflüssigkeit gegen die Moleküle des gelösten Körpers angesehen werden. Ebenso kann man mit M. TRAUBE annehmen, dass der Durchtritt eines Stoffes durch eine poröse Scheidewand durch Osmose dann erfolgt, wenn jenseits der Scheidewand sich eine Flüssigkeit befindet, in der sich der betreffende Stoff löst, die sonach eine Anziehungskraft auf ihn ausübt. Je grösser diese Anziehung, je grösser die Poren der Scheidewand und je kleiner die Moleküle des gelösten Körpers, desto schneller erfolgt die Osmose, desto grösser erscheint das osmotische Aequivalent (M. TRAUBE), desto geringer der osmotische Diffusionswiderstand. Doch umfasst dieses Gesetz nicht alle verschiedenen Möglichkeiten.

Sicher existiren auch Verschiedenheiten in der Anziehung, welche verschiedene Flüssigkeiten von den Bestandtheilen der Scheidewand erfahren. Für Wasser ist diese Anziehung von organischen Stoffen aus sehr deutlich. Alle trockenen thierischen Stoffe z. B. ziehen begierig aus der Atmosphäre dunstförmiges Wasser an und verdichten es in sich, alle sind stark hygroskopisch. Das imbibirte Wasser scheint analog dem Wasser in Lösungen erst bei einem höheren Wärmegrade zu sieden als im freien Zustande. Auch die experimentelle Beobachtung (LUDWIG), dass der Procentgehalt der imbibirten Salzlösungen innerhalb der Poren imbibirter Stoffe dem oben (S. 124) dargelegten Molekularbau entsprechend ein verschiedener sei, spricht für eine Anziehung der thierischen Stoffe gegen Wasser. In der Nähe der Moleküle der imbibirenden Stoffe ist der Gehalt der wässerigen Lösung an Salz ein geringerer als in weiterer Entfernung in der Mitte der Poren, die Moleküle selbst sind mit einer Hülle reinen Wassers umgeben. Bei weiten Poren ist in der Mitte eine Schicht anzunehmen, in welcher sich die Flüssigkeiten durch Diffusion mischen. Offenbar wird durch die Anziehung der thierischen Stoffe zu dem eingedrungenen Wasser die Fähigkeit desselben, Salze zu lösen, beeinträchtigt. Für andere Stoffe hat LIEBIG, indem er humöse Substanzen als Scheidewand verwendete, nachgewiesen, dass sie von der Wand zurückgehalten werden können. Humöse Scheidewände (z. B. Ackererde) halten die zur Pflanzennahrung nöthigen Substanzen, z. B. Kalisalze, zurück, während sie dafür unnöthige, z. B. Natronsalze, passiren lassen. Es existirt also hier eine Anziehung gegen gewisse Stoffe in grösserem oder geringerem Grade, welche uns an die Vertheilung der Kali- und Natronsalze z. B. im Blut erinnert (S. 91, 133).

Die Anziehung der todten thierischen Theile für verschiedene gelöste Stoffe ist ebenfalls eine verschiedene. Legen wir einen quellungsfähigen thierischen Stoff in eine Flüssigkeit, so nimmt er davon keine beliebige, sondern eine bestimmte Menge auf; lassen wir ihn noch länger in der Flüssigkeit liegen, so findet keine weitere Aufnahme statt. Diese aufnehmbare Menge der Flüssigkeit nennt man Quellungsmaximum. Es ist verschieden für die einzelnen Thierstoffe nach der Natur der Flüssigkeit. Ein thierischer Stoff nimmt von Oel,

Alkohol, Wasser, Salzlösungen von verschiedener Concentration etc. je ein verschiedenes Maximum auf.

Bei den Vorgängen der Osmose spielen sonach sehr verschiedene Momente mit; nur zum Theil und bei relativ weiten Poren des Diaphragmas macht sich der reine Strom der Diffusion in höherem Maasse geltend, stets ist er modificirt in der Wandschicht der Poren durch die Vorgänge der Imbibition und Quellung, welche, wie wir uns denken könnten, bei sehr engen Poren der Scheidewand allein zur Wirkung zu kommen vermögen. Fassen wir schliesslich das Gesagte zusammen, so finden wir die Geschwindigkeit der Diffusionsströme abhängig 1) von der Qualität der osmotisch verkehrenden Flüssigkeiten resp. Lösungen; 2) von den besonderen Eigenschaften des Diaphragmas, seiner Dicke, Porenweite, chemischen Beschaffenheit; 3) von der Temperatur.

Es leuchtet aus dem bisher Gesagten ein, eine wie ausserordentlich wichtige Rolle den Diffusionserscheinungen in dem thierischen Organismus anvertraut ist. Der überwiegend grösste Theil der thierischen Stoffe bleibt während der ganzen Dauer des Lebens in gequollenem Zustande; alle die Häute und Membranen, die wir im Thierleibe antreffen, sind mit wässerigen Salzlösungen imbibirt und gestatten darum wässerigen Lösungen den Durchtritt, indem sie ebenso allen mit Wasser nicht mischbaren Flüssigkeiten das Eindringen in ihre Poren verwehren. Die Aufnahme der gelösten Nahrungsstoffe aus dem Darme in die allgemeine Säftemasse, die Ausscheidungen in den Drüsen aus dem Blute beruhen wenigstens zum Theil auf Diffusionsvorgängen. Die Erfahrungen über das verschiedene osmotische Aequivalent der Lösungen; die Beobachtung über das verschiedene Verhalten verschiedener Membranen gegen den Durchtritt von Flüssigkeiten; das verschiedene Imbibitionsvermögen thierischer Stoffe für verschiedene Lösungen etc. scheinen uns für die erste Orientirung Fingerzeige zu geben für die Möglichkeit des Zustandekommens der Drüsenausscheidungen aus dem Blute, wo wir bald diesen bald jenen gelösten Stoff austreten sehen, ohne eine andere Vorrichtung als die Verwendung verschiedener quellungsfähiger Membranen und Zellenstoffe. Das Vorkommen bestimmter organischer Salze in den einzelnen Zellen, in denen wir hierin eine so bedeutende Verschiedenheit wahrnehmen, beruht sicher auf Verschiedenheiten, welche die einzelnen thierischen Stoffe in der Aufnahme von Flüssigkeiten und Lösungen erkennen lassen.

Verhalten lebender Membranen und Gewebe (Protoplasma) gegen Flüssigkeiten. — Trotz der bedeutungsvollen Lichtblicke, welche uns die Beobachtungen über Diffusion in die Lebensvorgänge der thierischen Zelle, des thierischen Organismus gestatten, bleibt doch das Meiste auch nach dieser Richtung noch in Dunkel gehüllt. Die einfachen Verhältnisse, welche bis jetzt bei Diffusionsversuchen betrachtet werden, entsprechen noch wenig den complexen Vorkommnissen im lebenden Organismus. Es wäre ganz falsch zu glauben, dass uns die für **todte Membranen und Gewebe** gefundenen Werthe für Endosmose und Imbibition **irgend etwas lehrten** für die Vorgänge im **lebenden Gewebe.** Die eigentliche (anorganische) Imbibition, gegründet auf die allgemeinen Gesetze der Hydrodiffusion, tritt im lebenden Gewebe vielleicht niemals rein auf. Der Vorgang der Stoffaufnahme und -Abgabe ist primär ein aktiver, durch die Lebenseigenschaften der Gewebe wird die Flüssigkeitsbewegung wesentlich modificirt.

Es waren zuerst die Beobachtungen der Mikroskopiker, welche zeigten, dass eine gewöhnliche Imbibition wie in todte Gewebe in lebende nicht stattfindet. Gerlach fand, dass lebende animale Zellen und Gewebe von indifferenten Farbstofflösungen, in denen sie sich befinden, Nichts aufnehmen, dass letztere dagegen in todte Gewebe sogleich eindringen und sich dort fixiren. Mit Pflanzengeweben machten H. Mohl, Nägeli und Andere dieselben Beobachtungen, von denen der zweite diese Verhältnisse noch weiter auf ihre Erscheinungen untersuchte. Für animale Gewebe und Zellen ergeben die Beobachtungen (J. Ranke), dass sie sich in Flüssigkeiten, welche für das Zellenleben indifferent sind, nicht imbibiren. Indifferent in diesem Sinne sind vor allem die Lösungen der verschiedenen neutralen Natronsalze von der Salz-Concentration der thierischen Gewebssäfte, also etwa von 0,5—1%. Für Froschge-

webe ist die Concentration 0,6 — 0,7%, wie es nach den angestellten Versuchen erscheint, am unschädlichsten. Neutrale *Zuckerlösungen* auch von mehreren Procenten erscheinen für die Gewebe (des Frosches) ebenfalls ziemlich indifferent, ebenso *Harnstofflösungen* für Muskeln und peripherische Nerven, während sie die Erregbarkeit gewisser centraler Nervensubstanzpartien vernichten. Noch eine Reihe anderer Stoffe reiht sich hier an.

Bei der Betrachtung der chemischen Einflüsse auf die Protoplasmabewegungen fanden wir, dass schwach saure oder schwach (stärker) alkalische Lösungen die Lebensenergie der organisirten Gebilde herabsetzen, vernichten, sich gegen die letzteren nicht indifferent verhalten. *In sauren und alkalischen Lösungen* sehen wir die lebenden Gewebe sich nun aber mehr oder weniger rasch *imbibiren in dem Verhältniss, als ihre Lebenseigenschaften in diesen Lösungen geschwächt und vernichtet werden.* Sehr auffallend ist es, dass zu den differentesten Stoffen für die verschiedensten Gewebe: Muskelsubstanz, peripherische und centrale Nervensubstanz etc. sich Salze erweisen, die in keinem Gewebe fehlen und einen wesentlichen Bestandtheil derselben ausmachen; die *Kalisalze der verschiedensten Säuren. Eine äusserst geringe Menge von Kalisalzen in die Blutcirculation warmblütiger Thiere gebracht, tödtet dieselben wie ein Blitzschlag.* Die oben genannten Gewebe sterben, die Muskeln unter Zuckungen, in Kalisalzlösungen von derselben Concentration, welche bei Natronsalzen sich als vollkommen indifferent und wirkungslos erweist. In allen Kalisalzlösungen sehen wir hierbei eine rasche Imbibition der Gewebe erfolgen.

An diese Beobachtungen reihen sich andere an, welche zeigen, dass die *Imbibition auch eintritt, wenn durch übermässige Thätigkeit* (Tetanus bei Muskeln und Nervensubstanz) *die Lebensenergie der Gewebe physiologisch aus inneren Gründen herabgesetzt ist.* Schon bei der Betrachtung der Einflüsse auf die Protoplasmabewegungen haben wir erwähnt, dass die Thätigkeit, sowie das Absterben der Gewebe mit einer *Säureanhäufung* (Fleischmilchsäure, saure phosphorsaure Salze, Kohlensäure) in den Zellen und Zellenderivaten einhergeht. Die Schwächung oder Vernichtung der Lebensenergie der Zellen und Gewebe durch Säuren, die von *aussen* einwirken, hat also ihr Analogon in der Wirkung der bei Ermüdung und Absterben *innerhalb* der Zellen und diesen äquivalenten Gewebselementen auftretenden Säuren. Bei der Einleitung der Imbibition durch Ermüdung und Absterben haben wir es also zunächst mit einer *Säurewirkung* zu thun, die uns schon aus den anderen Beobachtungen bekannt ist.

Um einige Beispiele anzuführen, so ist (J. Ranke)

	Quellungsmaximum:	
	Chlornatriumlösung 1%	Chlorkaliumlösung 1%
für lebende geruhte Muskeln	0	*positiv*, aber unbestimmbar, da der Muskel sehr rasch abstirbt.
für lebende tetanisirte Muskeln	13	*positiv*: aber unbestimmbar aus demselben Grunde.
für todte (geruhte u. tetanisirte) Muskeln	35%	136%.

Für die *Nervensubstanz* (Rückenmark von Fröschen) wurde gefunden (J. Ranke):

Lösung:	Mittlere Quellungszunahme in der ersten Stunde:	nach 24 Stunden:
1% Chlornatrium	0	(todt)
1% Natronsalpeter	3,4%	31%
1% saures phosphorsaures Natron	10,2%	35,6%
1% Chlorkalium	16,4%	94%
1% Kalisalpeter	18,1%	—
1% neutrales (schwach alkalisches) phosphorsaures Natron	28,5%	62,5%
Destillirtes Wasser	57,8%	183,8%.

Die Beobachtungen am Muskel sind denen an der Nervensubstanz ganz analog. Auch bei ihnen zeigt sich das destillirte Wasser als eines der heftigsten Gifte, das deren Erregbarkeit ungemein rasch vernichtet.

Am wichtigsten für die Beurtheilung ist die Differenz in der Quellung animaler Substanzen in neutralen Natron- und Kalisalzen gleicher Concentration. Kali und Natron können sich in der anorganischen Natur wechselsweise ersetzen, in der organischen Natur dagegen sind die Salze des einen vollkommen indifferent in einer Concentration, in welcher das andere als das heftigste Gift wirkt. Dem entsprechend sehen wir von Natronsalzlösungen noch Nichts aufgenommen, während von der gleich concentrirten Lösung des Kalisalzes eine sehr reichliche Menge eingetreten ist.

Gegründet auf die Imbibitionsversuche an lebhafter Muskel- und Nervensubstanz, sowie an den Drüsenzellen der Darmschleimhaut sprechen wir das

Imbibitionsgesetz lebender Gewebe (Zellen)

folgendermassen aus:

Die lebenden Gewebe (Zellen) nehmen durch Imbibition nur dann Stoffe in sich auf, **wenn ihre Lebensenergie geschwächt ist.** Es ist gleichgültig, ob diese Schwächung der Lebensenergie durch die zur Imbibition dargebotenen, von aussen eindringenden Stoffe selbst erzeugt wird (Aufnahme von alkalischen und sauren Flüssigkeiten, von Lösungen von Kalisalzen und destillirtem Wasser etc., oder ob innere physiologische Zustände (saure Reaktion des Zellinhalts durch gesteigerte Thätigkeit des Protoplasma [Tetanus bei Muskeln und Nerven], oder durch beginnendes Absterben) die Lebensenergie alteriren (J. Ranke).

Man hat öfters den lebenden Zellen ein »Auswahlvermögen« zugeschrieben, so dass sie nur die für ihren Lebensprocess nöthigen Substanzen in sich eindringen lassen sollen. Unser Imbibitionsgesetz lehrt, dass die lebensfrische Zelle nur Stoffe in sich eintreten lässt, die primär ihre Lebensenergie herabsetzen, welche, wenn sie auch zum Theil für das Zellenleben unentbehrlich sind, ihre Aufnahme doch nur ihrer ersten, schwächenden Wirkung verdanken.

Die in ihrer Lebensenergie aus physiologischen Ursachen z. B. Tetanus herabgesetzten Gewebselemente imbibiren sich nach dem Gesagten auch in indifferenten Lösungen. Es etablirt sich zwischen der äusseren Flüssigkeit und dem Zellinhalt ein mehr oder weniger lebhafter Diffusionsverkehr. Dadurch treten Nährstoffe in die Zelle ein und die dem Zellenleben schädlichen Substanzen, die sich z. B. durch gesteigerte Thätigkeit in der Zelle anhäuften (Säuren, ermüdende Stoffe), aus diesen heraus; damit hebt sich die Lebensenergie der Gewebe wieder und nun sehen wir bei Muskeln und Nerven constatirt (J. Ranke) nicht nur die Flüssigkeitsaufnahme sistirt, sondern wir sehen auch, besonders deutlich bei Muskeln, die überschüssig aufgenommene Flüssigkeit aktiv wieder ausgepresst werden.

In dem lebenden Organismus sind die von uns geforderten Bedingungen zur Flüssigkeitsaufnahme und -Abgabe von Seite der Zellen und Gewebe beständig gegeben. Stets sehen wir die Organe aus inneren Ursachen in der Intensität ihrer Lebensenergie auf- und abwärts schwanken. Organe, die durch stärkere Arbeitsleistung ermüdet sind, erhalten einen gesteigerten Ernährungsstrom gerade durch die chemischen Veränderungen des Protoplasma ihrer Zellgebilde, welcher die eingetretenen Störungen des Zellenlebens zunächst durch Entfernung der schädlichen Zersetzungsprodukte, dann durch Ersatz der verlorenen Bestandtheile und durch Neuzufuhr von Sauerstoff als Stoffwechselbedingung ausgleicht und oft übercompensirt. Sind einmal die Gewebsporen aus äusseren oder inneren Ursachen geöffnet, so dass überhaupt ein Eindringen von Flüssigkeiten stattfinden kann, dann erst treten die Vorgänge der Hydrodiffusion in ihrer anorganischen Gesetzmässigkeit ein. Unsere Beobachtungen werfen ein Licht auf den Werth und die Wirkung der alkalischen Reaktion der Gewebsflüssigkeiten, der sauren und alkalischen

Reaktion der Verdauungsflüssigkeiten, des (geringen) Kaligehalts des Blut- und Lymphserums für die Vorgänge der Stoffaufnahme und -Abgabe.

Bei den Zellen und Zellenderivaten, denen eine aktive Contractilität des Protoplasma zukommt, kann man sich schematisch den Porenverschluss ihrer Zellmembranen und Aussenschichten, durch welche während des ungestörten Lebens das Eindringen indifferenter Flüssigkeiten gehindert wird, so vorstellen, dass man eine beständige (Tonus) oder rhythmische leichte Contraction des Protoplasma annimmt. Da dieses mit den Zellmembranen (und Zellaussenschichten) mehr oder weniger fest verbunden ist, so wird die innere Wand der elastischen Zellmembran (die inneren Partien der Zellaussenschichten) eine gewisse Zusammenziehung, eine Contraction erleiden. Nehmen wir nun Poren (und Molekularinterstitien) an, welche die Zellhüllen senkrecht röhrenförmig durchsetzen, so müssen diese durch den von innen auf die Wand ausgeübten Zug trichterförmig nach innen verengert oder verschlossen werden. Wird aus inneren Ursachen die Lebensenergie des Protoplasma gelähmt, so hört der Zug auf die Innenschichten der Zellhüllen mehr oder weniger auf, die Poren öffnen sich und Flüssigkeiten können in die Zelle eintreten. Wenn sich die Lebensenergie des Protoplasma wieder hebt, so wird der frühere Porenverschluss wieder erneuert, nachdem zuerst bei rückkehrender Contraction und noch offenen Poren die überschüssig aufgenommenen Flüssigkeiten durch den nun aktiv wieder gesteigerten Druck im Zelleninnern wieder ausgepresst wurden. Findet keine Rückkehr zum normalen Leben statt, wenn z. B. die aufgenommene Flüssigkeit das Protoplasma tödtet, so wird so lange Flüssigkeit in die Zelle eintreten können, als der dadurch in der Zelle steigende Druck noch die Zellhüllen (Zellmembran oder Aussenschicht) oder das Gesammtprotoplasma auszudehnen vermag, was je nach der, sowohl nach der verschiedenen Lebensenergie, wie nach den chemisch-physikalischen Einwirkungen der eingedrungenen Stoffe auf die organischen Gebilde sich verändernden, Elasticität derselben verschieden sein muss. Das Imbibitionsmaximum einer Zelle stellt sich dann für verschiedene gelöste Stoffe verschieden, je nachdem die Elasticität der Zellhüllen und des Protoplasma durch die verschiedenen Stoffe beeinträchtigt wird. So lassen sich die verschiedenen Imbibitionsmaxima für verschiedene Lösungen e r k l ä r e n.

Diese Erklärung bezieht sich zunächst auf die Stoffaufnahme todter oder sonst in ihrer Lebensenergie aus inneren Ursachen geschwächter Gewebe und Zellen. Sie lässt sich aber auch, wie wir sahen, ausdehnen auf die Imbibitionsverhältnisse durch Schwächung des Protoplasmalebens vermittelst Stoffen, die von aussen her eindringen, indem diese zunächst eine chemische Einwirkung auf die Zellhüllen und von da aus auf das Protoplasma ausüben, deren Erfolg dann der gleiche ist, als wäre die Schwächung primär aus inneren Gründen erfolgt.

Die Beobachtungen über Imbibition und Diffusion im l e b e n d e n O r g a n i s m u s geben uns Aufschlüsse darüber, warum wir besonders die anorganischen Stoffe in den Geweben und Gewebsflüssigkeiten so eigenthümlich vertheilt sehen. In den Gewebsflüssigkeiten: Blutserum, Lymphserum, in der Ausscheidungsflüssigkeit der Leber: Galle sehen wir fast ausschliesslich Natronsalze, dagegen i n d e n G e w e b e n u n d Z e l l e n: B l u t k ö r p e r c h e n, a l l e n O r g a n e n f i n d e n w i r v o r w i e g e n d K a l i s a l z e. W i r w i s s e n j e t z t, d a s s d e r G r u n d d a f ü r d a r i n z u s u c h e n i s t, d a s s d i e G e w e b e e i n a k t i v e s »A u f n a h m s b e s t r e b e n« f ü r K a l i s a l z e b e s i t z e n u n d d i e s e e b e n s o i n s i c h z u r ü c k h a l t e n, w i e w i r d u r c h Liebig d a s f ü r d i e A c k e r e r d e, H u m u s, e r f a h r e n h a b e n. N a t r o n s a l z e d a g e g e n w e r d e n v o n d e n G e w e b e n e b e n s o w e n i g w i e v o n d e r A c k e r e r d e g e b u n d e n. D e r g e r i n g e K a l i g e h a l t i n d e n G e w e b s f l ü s s i g k e i t e n r ü h r t t h e i l s v o n d e r N a h r u n g, t h e i l s v o n d e n z e r f a l l e n e n G e w e b s p a r t i e n h e r.

A e h n l i c h w i e g e g e n K a l i s e h e n w i r d i e G e w e b e s i c h g e g e n P h o s p h o r s ä u r e v e r h a l t e n. Von den Nerven wissen wir, dass sie in anderen sehr verdünnten Säuren verhältnissmässig lange ihre Lebenseigenschaften bewahren können, dagegen sterben sie unter rascher Aufnahme in verdünnten Phosphorsäurelösungen sehr bald ab. Es verhält sich also

die für das Leben der Nerven nicht weniger als das Kali wichtige Phosphorsäure in Beziehung auf Imbibition ebenso wie dieses (J. Ranke).

Zwischen den verschiedenen lebenden Zellen und Zellenderivaten herrscht ein nicht zu verkennender Unterschied in Beziehung auf die Raschheit, mit welcher gewisse Stoffe auf sie einwirken und in sie aufgenommen werden. Daraus erklärt sich das ganz eigenthümliche Verhalten, dass manche Stoffe für gewisse Gewebe indifferent, für andere dagegen schädlich erscheinen. So wirkt, wie schon oben angegeben, Harnstoff primär nur (erregend auf die centralen Gehirnpartien, in denen das Reflexhemmungscentrum liegt. Kohlenoxyd ist gegen alle Gewebe indifferent, bewirkt aber den Tod des Organismus durch eine Verbindung mit dem Hämoglobin, wodurch dieses gehindert wird, Sauerstoff aufzunehmen. Näheres wird vor allem bei dem Nervenleben beigebracht werden müssen. Derartige Unterschiede geben uns einen Einblick in einen unermesslichen Reichthum von Wechselwirkungen der Erregbarkeit, Stoffaufnahme und -Abgabe, an dem sich besonders auch die anorganischen und krystallisirbaren organischen Stoffe im Körper betheiligen.

Filtration. Ausser den besprochenen Lebenseinwirkungen auf die Osmose und Hydrodiffusion verbinden sich mit denselben noch andere Vorgänge zum Theil von grosser Wichtigkeit. Zunächst sehen wir mit den Diffusionsvorgängen sich stets Filtration mischen. Die Filtration ist von der Diffusion, durch deren Vermittelung gelöste Stoffe durch Membranen hindurchtreten (Endosmose) zunächst dadurch unterschieden, dass die Filtration unter Wirkung eines hydrostatischen Druckes gelöste Stoffe durch Membranen, Scheidewände presst, während die Endosmose von äusserem Druck unabhängig ist. Die Ursachen dieses Druckes sind, ausser der Schwerewirkung, positive und negative Spannungen, die auf den flüssigen Inhalt von Zellen, Blut- und Lymphgefässen etc. meist durch die umschliessenden Membranen ausgeübt werden. Der Filtrationsprocess erfordert, dass der Druck auf der einen Seite geringer sei als auf der anderen, von welcher der Strom der filtrirenden Flüssigkeit ausgeht. Das kann dadurch erreicht werden, dass der Druck im Innern bestimmter Zellen und Zellenderivate durch übermässige Imbibition, z. B. nach Tetanus der Muskelfasern (cf. oben) steigt, wobei dann theils z. B. von den passiv übermässig gespannten Hüllschichten, theils aktiv von dem sich erholenden und in Folge davon wieder contrahirenden Protoplasma Flüssigkeiten ausgepresst — filtrirt — werden. Da die Weite der Gefässe der Ernährungsflüssigkeiten unter dem Einfluss des Nervensystems steht, so kann der Druck in ihnen und ihren Kapillaren abwechselnd ansteigen und abnehmen. Steigt der Druck z. B. in den Blutkapillaren, durch Erhöhung des allgemeinen Blutdrucks oder durch Erweiterung der zuführenden Gefässe durch Nerveneinfluss (Wärme), über den Druck in dem umgebenden Gewebe, so findet Filtration aus den Kapillaren in die Umgebung statt. Das Umgekehrte wird der Fall sein, wenn sich die Spannung in den Kapillaren vermindert unter den Werth der Gewebsspannung. Bei der Absonderung der Galle hat man darüber interessante Beobachtungen angestellt, die sehr leicht zu bestätigen sind. So lange der Abfluss der Galle in den Gallegefässen nicht gehindert, der Druck in denselben und ihren Kapillaren nur sehr gering ist, findet eine Ausscheidung von Galle (Filtration) aus dem Lebergewebe in die Gallekapillaren statt; staut sich dagegen die Galle in den Gallegefässen durch Behinderung des Abflusses an, so dass der Druck in ihnen bis zu einer gewissen Höhe, 20 cm Wasserhöhe (Haidenhain) bei Meerschweinchen, ansteigt, so tritt (filtrirt) die Galle in das Leberparenchym zurück. Der Druck kann auf der einen Seite auch dadurch relativ erhöht werden, dass er auf der anderen Seite absinkt (Saugdruck). Durch die Filtrations- und Diffusionsvorgänge setzen sich die Spannungen in den Gefässkapillaren und den Geweben mehr oder weniger vollkommen ins Gleichgewicht. Mit der steigenden Spannung in den Kapillaren steigt auch die Spannung (durch Flüssigkeitsaufnahme), Turgor, in den umgebenden Geweben. Wird nun der Druck in den Kapillaren vermindert unter den entgegengesetzten Einflussen, die wir oben für die Erhöhung der Spannung namhaft machten (Verminderung des allgemeinen Blutdrucks, Reizung der vasomotorischen Nerven [Kälte]), so wird sich eine Druckausgleichung

im entgegengesetzten Sinne, vom Gewebe in die Kapillaren einstellen. In den Zotten des Darms werden wir eigentliche Saugeinrichtungen kennen lernen, die wie ein aufgesetzter Schröpfkopf durch lokale Aufhebung (Verminderung) des Luftdruckes Flüssigkeiten einsaugen. Abnahme der Gewebsspannung aus inneren Ursachen wird die Filtration aus den Kapillaren ebenfalls begünstigen. Im Allgemeinen, abgesehen von den regulirenden Lebenseigenschaften der Membranen, können wir aussprechen, dass die Menge der filtrirenden Flüssigkeit steigt mit der Zunahme des Druckunterschiedes und umgekehrt.

Die Filtration hat darin eine sehr grosse Aehnlichkeit mit der Imbibition und Hydrodiffusion, dass auch hier zunächst nur Flüssigkeiten der Durchtritt gestattet wird, in welchen sich die betreffenden Membranen, durch die filtrirt werden soll, imbibiren. Bei lebenden Membranen tritt also hier wieder die ganze Mannigfaltigkeit der Lebenseinwirkungen auf die Imbibition in Wirkung, und das Filtrationsgesetz lebender Membranen ist im Wesentlichen das gleiche wie das oben aufgestellte Imbibitionsgesetz (J. Ranke).

Die abgestorbenen Membranen, z. B. Magen- oder Darmschleimhaut, filtriren indifferente Lösungen mit grosser Leichtigkeit. Als indifferente Flüssigkeiten sind für diese Organe zu nennen: Brunnenwasser, 1% Chlornatriumlösungen, neutrale Zuckerlösungen. Diese indifferenten Lösungen filtriren (von der Epithelseite) nicht durch lebende Membranen, sie filtriren nicht durch lebende Epithelien. Dagegen filtriren durch lebende Epithelien: destillirtes Wasser, schwach saure und schwach alkalische Flüssigkeiten, z. B. 1% saures schwefelsaures Natron, 1% einfach kohlensaures Natron, 1 pro mille Salzsäure. Starke Säuren, z. B. 1% Salzsäure, filtrirt weder durch lebende noch todte Schleimhäute. Mit Ausnahme der 1% Chlorkaliumlösung dringen in die Epithelien der Magen- und Darmschleimhaut dieselben Stoffe zur Filtration ein, die wir auch mit rasch schwächender Einwirkung auf die Lebensenergie in Muskel und Nerv eindringen sehen. Wir sehen sonach auch bei diesen Epithelien eine vitale Resistenz gegen das Eindringen physiologisch indifferenter Stoffe. Durch die unverletzten, lebenden Epithelien passiren nur solche Flüssigkeiten, welche eine physiologisch verändernde Wirkung auf dieselben ausüben, welche die Lebensenergie ihres Protoplasma herabsetzen (J. Ranke und Halenke). So werden alle die Vorgänge der Aufnahme und Abgabe von Stoffen durch die Epithelien und Zellen, die man sich gern als rein physikalische Vorgänge dachte, im Organismus in physiologischer Weise modificirt.

Durch die Filtration können gewisse Stoffe wie durch Diffusion von einander getrennt werden. Bei geringerem Drucke filtriren nur wahre Lösungen, Lösungen von Krystalloidsubstanzen (Graham), während die unechten Lösungen gequollener Substanzen (Kolloidsubstanzen), wie Eiweiss, Stärke, Gummi, nicht hindurchtreten. Letztere thun das erst unter steigendem Druck, doch immer in kleinen Mengen. So kann Eiweiss bei sehr gesteigertem Druck (?) in den Nierenkapillaren im Harn erscheinen; der gewöhnliche Grund dieses pathologischen Vorgangs ist jedoch theilweiser Mangel des Harnkanälchen-Epithels, das die Filtration regulirt, und damit verbunden Eröffnung capillarer Lymphräume.

Zu diesen Complicationen der Diffusions- und Filtrationsvorgänge kommt noch nach dem Obigen der verschiedene Bau der thierischen Membranen hinzu, in Folge dessen der Durchtritt den Flüssigkeiten nur nach bestimmten Richtungen gestattet ist. Nach den Beobachtungen von Matteucci und Cima soll das endosmotische Aequivalent für dieselben Membranen wechseln, je nachdem man die eine oder die andere Seite dem Wasser oder der Salzlösung gegenüber setzt. Für die Filtration kann man bei lebender Magen- und Darmschleimhaut die Ungleichheit des Filtrationsvorganges leicht nachweisen, je nachdem man die Epithelseite oder die Aussenseite der filtrirenden Flüssigkeit darbietet (J. Ranke). H. Meckel hat an dem Schalenhäutchen der Eier, welches mikroskopische Poren besitzt, entdeckt, dass es nur nach einer Richtung den Flüssigkeiten den Durchtritt gestattet. Die Flüssigkeiten gehen leicht hindurch, wenn sie von der Schalen- zur Eiweissseite hin gepresst werden, gar nicht in umgekehrter Richtung. Es müssen Vorrichtungen vorhanden sein, wie die oben für

die Imbibition angedeuteten, welche ventilartig die Poren nach einer bestimmten Richtung abschliessen. Wie mannigfach mögen analoge Einrichtungen in anderen thierischen Membranen sich finden. Vielleicht zeigt jede lebende Zellenmembran ein analoges Verhalten, so dass den austretenden Stoffen andere Widerstände als den eintretenden entgegenstehen. Dass es sich bei diesen Ventilen wenigstens zum Theil um Elasticitätswirkungen in der von uns angenommenen Art handelt, geht aus unseren Beobachtungen an den Schleimhäuten hervor.

Im Allgemeinen sehen wir, dass Flüssigkeitsbewegungen von einer Zelle in die andere stattfinden aus Ursachen, die nicht der Willkür des Organismus unterworfen sind. Dahin, wo sich eine Differenz in der Concentration einer Zellenflüssigkeit an irgend einem Stoffe mit allen oder einer anderen Zelle zeigt, wird durch Diffusion ein Säftestrom getrieben werden, der die entstandenen Ungleichartigkeiten in Bälde wieder auszugleichen vermag. So wird die Flüssigkeitsbewegung zu dem Hauptfaktor, welcher die normale chemische Zellenkonstitution aufrecht erhält. Es kann in keiner Zelle sich abnormer Weise ein gelöster Stoff anhäufen, ohne dass er durch gesteigerte Diffusion zwischen der betreffenden und den nachbarlichen Zellen oder Gewebsflüssigkeiten ausgewaschen würde.

Gasdiffusion und Absorption im Organismus.

Diffusion. Im lebenden Organismus, in der Zelle, finden die vitalen Thätigkeiten nur unter ungestörter Einwirkung des Sauerstoffs statt, der den Zellen theils gasförmig, theils lose gebunden (an Hämoglobin) zugeführt wird. Auf der anderen Seite kann das organische Leben nicht bestehen, wenn nicht die durch die physiologische Oxydation entstehende Kohlensäure beständig entfernt wird, da sie für die Gewebe ein Gift ist. Kohlensäure und Sauerstoff sind die beiden wichtigsten Gase, die bei dem organischen Leben sowohl der Pflanze als des Thieres in Betracht kommen. Ausserdem entfernt sich aus dem in der Luft lebenden animalen Organismus auch fortgesetzt eine grössere oder geringere Menge von Wasserdampf (natürlich fällt das bei den Wasserthieren weg, welche nicht durch Luftlungen athmen), es tritt Stickstoff in ihn ein und aus. Im Darme entstehen aus Gährungsvorgängen noch Kohlenwasserstoff und Wasserstoff. Auf einige andere Gase und ihr Verhalten zum thierischen Organismus werden wir im Verlaufe der speciellen Darstellung noch kommen. Der Wechselverkehr des Organismus mit Gasen beruht zunächst auf den Gesetzen der Diffusion und Absorption der Gase, doch finden sich auch hier Ausnahmsverhältnisse im lebenden Organismus, welche die anorganische Gesetzmässigkeit zum Theil verdecken.

Man bezeichnet mit dem Worte Gasdiffusion den Vorgang des Ineinanderströmens mehrerer in freie Verbindung gesetzter Gasmassen. Ihr schliessliches Resultat ist das gleiche wie das der Hydrodiffusion, es entsteht ein gleichmässiges Gemenge hier von Gasen, dort von Lösungen. Gase, die in ein Vacuum einströmen, füllen dieses vollkommen und gleichmässig aus, dasselbe ist der Fall, wenn in dem Raume, in welchen ein Gas einströmt, schon ein anderes enthalten war, wenn beide Gase sich nicht chemisch beeinflussen; ein Raum, welcher von einem indifferenten Gase erfüllt ist, verhält sich für ein anderes, als wäre er ein Vacuum. Mag die Menge des einen Gases in dem gegebenen Raume gross oder klein sein, oder, wie man zu sagen pflegt, mag der Gasdruck für das eine Gas eine beliebige Höhe besitzen, so wird ein anderes Gas sich doch in dem Raume noch ebenso verbreiten, als wenn er vollkommen leer wäre. Unsere Luft ist aus Sauerstoff und Stickstoff zusammengesetzt, gemischt. Die durch die Athmung der thierischen Organismen zugeführte Kohlensäure verbreitet sich vollkommen in ihr, so dass sie überall im gleichen, sehr geringen Procentverhaltniss gefunden wird, wo nicht durch lokale Produktion eine momentane Anhaufung stattfindet, die sich jedoch möglichst rasch ausgleicht e. v. v. Der Gasdruck, den der Sauerstoff in der Luft erleidet, der Sauerstoffdruck, ist ein weit grosserer als der der Kohlensäure, der Sauerstoff

ist in weit bedeutenderer Menge in der Atmosphäre vorhanden; die Kohlensäure steht also unter einem geringeren Druck ihrer eigenen Masse: der Kohlensäuredruck ist, entsprechend der geringeren Menge Kohlensäure in der Atmosphäre, geringer als der Sauerstoffdruck. Die Diffusion führt theoretisch zu dem endlichen Resultate, dass alle Gase in einem gegebenen Raum, z. B. in der ganzen Atmosphäre, unter dem gleichen Druck stehen; überall also, wo momentan eine zufällige Anhäufung eines Gases stattfindet, tritt die Diffusion in Wirksamkeit, welche nach längerer oder kürzerer Zeit zu einer völligen Ausgleichung des Druckes des betreffenden Gases, zu einer gleichmässigen Mischung desselben mit den übrigen Gasen führt. Das Gesetz, nach welchem die Diffusion der Gase stattfindet, lautet: Die Geschwindigkeiten, mit welchen verschiedene Gase unter gleichen Umständen (gleichem Druck) durch eine sehr feinporöse Scheidewand ins Leere oder in andere Gase diffundiren, verhalten sich umgekehrt wie die Quadratwurzeln aus den specifischen Gewichten der Gase.

Absorption. Gerade so wie Gasarten in Räume einströmen, die schon von einem anderen Gase eingenommen sind, so strömen sie auch unter Umständen in die Molekularinterstitien von Flüssigkeiten ein, ohne dass dazu eine chemische Verwandtschaft zwischen Gas und Flüssigkeit erforderlich wäre. Ebenso wie ausserhalb, so üben auch innerhalb der Flüssigkeiten die Gase keinen Druck auf einander aus, so dass in dieselbe Flüssigkeit eine beliebige Anzahl von Gasen gleichzeitig einströmen kann.

Wenn zu diesem Eindringen der Gase in Flüssigkeiten auch keine eigentliche chemische Verwandtschaft gehört, so ist dabei doch eine gewisse Attraktion der Flüssigkeits- zu den Gasmolekülen unverkennbar. Wir treffen bei der Lösung der Gase in Flüssigkeiten, bei der Absorption, analoge Gesetze, wie wir sie bei der Lösung fester Körper in Flüssigkeiten finden. Jede Flüssigkeit absorbirt bei konstanter Temperatur von einem bestimmten Gase ein bestimmtes Volumen; die Volumina aber, welche eine Flüssigkeit bei gleicher Temperatur von verschiedenen Gasen zu absorbiren vermag, sind sehr verschieden. Das absorbirte Gasvolumen wechselt je nach der Temperatur der absorbirenden Flüssigkeit. Während bei der Lösung der festen Stoffe die gelöste Menge gewöhnlich steigt mit der Temperatur des Lösungsmittels, sehen wir bei den Gasen den umgekehrten Fall: mit der steigenden Temperatur wird die Absorptionsfähigkeit der Flüssigkeiten für Gase fast immer geringer, eine theilweise Ausnahme bildet bei höheren Graden, wie es scheint, nur der Wasserstoff. Bei einer Temperatur von 100° C. ist das Wasser nicht mehr im Stande, irgend ein Gas in sich zu halten, sein Absorptionsvermögen ist dann = 0.

Man bezeichnet als »Absorptionscoëfficient« diejenige Menge von Gas, welche eine Flüssigkeit, die frei mit dem zu absorbirenden Gas communicirt, aufzunehmen vermag. Die Absorptionscoëfficienten sind, wie gesagt, für jede Flüssigkeit und jedes Gas und für jede Temperatur verschieden. Nach den Beobachtungen von Bunsen absorbirt eine Volumeinheit Wasser bei verschiedenen Temperaturen Kohlensäure, Stickstoff und Sauerstoffgas in folgenden Mengen:

Gasart:	Temperatur:	Aufgenommenes Volumen:
Kohlensäure	0°	1,7967
	20°	0,9046
Kohlenoxyd	0°	0,032874
Stickgas	0°	0,02034
	20°	0,01401
Sauerstoff	0°	0,04114
	20°	0,02838
Wasserstoff	0°	0,0163 ebenso viel bei höheren Graden.

Unter jedem Drucke nimmt dieselbe Flüssigkeit das gleiche Gasvolumen auf. Nach dem Mariotte'schen Gesetze steigt die Dichtigkeit — das specifische Gewicht — der Gase direct mit dem auf ihnen lastenden Druck; daraus folgt nach dem mit-

getheilten Absorptionsgesetz, dass die aufgenommenen Gasgewichte direct mit dem Druck, unter welchem die Absorption geschieht, wachsen. Die aufgenommenen Gasvolumina bleiben sich unter jedem Drucke gleich, doch wiegt bei höherem Druck das gleiche Volumen entsprechend mehr als bei weniger hohem.

Die in Flüssigkeiten absorbirten Gase verlieren nicht ihr Diffusionsbestreben. Bringen wir eine mit Gas bei einem bestimmten Gasdruck gesättigte Flüssigkeit, z. B. Wasser mit Kohlensäure, in einen geschlossenen Raum, der mit einer anderen Gasart, z. B. Wasserstoff gefüllt ist, so diffundirt die Kohlensäure aus dem Wasser in den vom Wasserstoff eingenommenen Raum. Es wird so lange Kohlensäure aus dem Wasser weggehen, bis ausserhalb und innerhalb der Flüssigkeit die Vertheilung der Kohlensäure der Gesammtmenge der Kohlensäure, dem Kohlensäuredruck entspricht. Dafür wird aber auch Wasserstoff in das Wasser hineindringen, bis auch er dem Drucke — dem Wasserstoffdrucke — entsprechend ausserhalb und innerhalb der Flüssigkeit vertheilt ist.

Das Entweichen eines absorbirten Gases geschieht also dann, wenn die Spannung dieses Gases, also z. B. der Kohlensäure in dem über der Flüssigkeit befindlichen Raum vermindert wird. Wenn die Flüssigkeit, welche bei einem bestimmten Gasdruck — Kohlensäuredruck z. B. — sich gesättigt hatte, mit einem Raum in Verbindung gebracht wird, in welchem das absorbirte Gas unter einem geringeren Drucke steht, als der war, unter welchem die Absorption stattfand, so wird Gas abgegeben e. v. v.

In der Zelle, in dem thierischen Organismus findet der Gasverkehr meist durch Scheidewände hindurch statt, durch Zellenmembranen, Wände der Kapillargefässe etc. Diese organischen, mit Flüssigkeit getränkten Scheidewände setzen dem Gasstrom vom Gas in die Flüssigkeit und umgekehrt einen geringen Widerstand entgegen. Die animalen Flüssigkeiten communiciren durch die genannten zarten feuchten Membranen fast direct mit den Gasen der Atmosphäre. Diese ist zusammengesetzt aus 21 Volumprocenten Sauerstoff und 79 Volumprocenten Stickstoff und aus Spuren von Kohlensäure. Denken wir uns die fragliche Flüssigkeit zunächst gasfrei, so werden die beiden Hauptbestandtheile der Atmosphäre je nach ihrem Absorptionscoëfficienten und dem Druck, unter dem sie stehen, in dieselbe eindringen. Der Sauerstoffdruck verhält sich zum Stickstoffdruck wie 21 : 79 (das Verhältniss, in welchem die Gase in der Luft gemischt sind). Nehmen wir das Absorptionsvermögen der thierischen Flüssigkeit gleich der des Wassers für die beiden Gase an, was sich von der Wahrheit kaum entfernt, so würde sich, da der Absorptionscoëfficient des Sauerstoffs beinahe doppelt so gross ist als der des Stickstoffs, der Sauerstoffgehalt zu dem Stickstoffgehalt in der Flüssigkeit verhalten wie 34,91 : 65,09. Das angegebene Verhältniss der beiden Gase findet sich in dem mit der Atmosphäre längere Zeit frei communicirenden Wasser der Flüsse, Seen etc., so dass demnach die Wasserthiere eine relativ an Sauerstoff reichere Luft athmen als die Luftthiere.

Von der Kohlensäure der Atmosphäre könnte unter normalen Umständen in die kohlensäurefrei gedachte Zellenflüssigkeit nur entsprechend der minimalen in der Luft enthaltenen Kohlensäuremenge aufgenommen werden. Wir haben die Zellenflüssigkeit sowie das Blut als einen Herd der Kohlensäureproduktion erkannt. Es ist also unter normalen Verhältnissen der Kohlensäuredruck — entsprechend der Kohlensäuremenge — in der Zelle weit grösser als ausserhalb derselben. Es wird deshalb normal keine Kohlensäure aus der Luft in die Flüssigkeit aufgenommen werden können, sondern es wird vielmehr die Kohlensäure aus dieser diffundiren, um sich mit der Kohlensäure der Luft in das Gleichgewicht der Spannung zu setzen. Das Gleiche ist mit dem Wasserdampfe der Fall.

So zerfällt demnach der Gasverkehr der Flüssigkeiten des Organismus mit der Atmosphäre nach dem Gesetz der Diffusion und Absorption in zwei Theile:

es nimmt der Organismus aus der Luft auf: Sauerstoff und Stickstoff,

und scheidet dafür aus: Kohlensäure und Wasserdampf.

Doch sind, wie sich uns in der Folge ergeben wird (cf. Athmung), die Diffusionsgesetze im lebenden Organismus mannigfach durch die hier gegebenen besondern Verhältnisse modificirt. Das gilt vor allem für den Verkehr des Organismus mit dem freien Sauer-

stoff seines Respirationsmittels. Die Aufnahme des Sauerstoffs in das Blut geschieht nur zu einem verschwindend kleinen Antheil nach den Gesetzen der Diffusion und Absorption, die grösste Menge des aufgenommenen Sauerstoffs wird zunächst durch eine Attraktion des Farbstoffs der Blutkörperchen herbeigezogen. Die aufgenommene Stauerstoffmenge ist danach von den Absorptionsgesetzen unabhängig und weit grösser in thierischen Flüssigkeiten, welche sauerstoffanziehende Substanzen (z. B. rothe Blutkörperchen) enthalten, als er ohne diese sein würde. Die Kohlensäure schwächt die Lebensenergie des Protoplasma und öffnet damit die Gewebsporen für Flüssigkeits- und Gas-Diffusion.

Wechselwirkung der Kräfte im Organismus.

Wir haben das Leben der Zelle als eine Function sehr complicirter Art zunächst dreier wesentlich verschiedener Grössen kennen gelernt.

Die Form und Molekularstructur der Zelle,
ihre chemische Mischung,
die physikalischen Eigenschaften ihrer Stoffe

sind die drei Faktoren, aus denen das specifische Zellenleben hervorgeht. Die Wissenschaft ist noch weit davon entfernt, den mathematischen Ausdruck für diese Function aufstellen zu können. Im letzten Grunde ist das Problem des Zellenlebens, wie des Lebens überhaupt ein Problem der analytischen Mechanik. Für jetzt sind kaum die ersten Vorarbeiten geliefert zu einer Mechanik der Zelle, welche die einfachen Gesetze construiren muss für das Leben des Organismus in analoger Weise, wie es gelungen ist, das Leben des Kosmos als eine Mechanik des Himmels darzustellen. Vielleicht ist die Aufgabe hier kaum schwieriger als sie dort gewesen ist. Die Mannigfaltigkeit der Beziehungen ist vielleicht in beiden Gebieten nicht wesentlich verschieden. Jene Mannigfaltigkeit entwirrt sich nach einem Gesetze, dessen Einfachheit nicht grösser gedacht werden könnte. Die Physiologie harrt noch ihres Keppler und Newton, der das einfache Gesetz des Lebens in den in unmittelbarer Berührung wirkenden Kräften der Anziehung und Abstossung der Moleküle erkennt. Für jetzt sind die Beziehungen, die wir in der Zelle, im Organismus thätig sehen, für unser Auffassungsvermögen noch sehr complexer Natur, nur selten gelingt es, sie vollkommen zu erfassen. In den Vorgängen der lebenden Organismen kommen dieselben Naturgesetze und Kräfte zur Geltung, wie in der leblosen, organischen Welt. Fast überall, wo man diesen allgemein anerkannten Satz auf seine Richtigkeit im Einzelvorgange prüft, findet sich aber, dass das betreffende anorganische Gesetz im lebenden Organismus unter ganz eigenthümlichen Ausnahmsbedingungen in Erscheinung tritt, welche es in der wesentlichsten Weise für die Lebensvorgänge umgestaltet.

I. Versuchen wir einige Beziehungen der Zellenform zu dem Zellenleben darzustellen.

Wo an einer bestimmten, umgrenzten Stelle durch die Zellenthätigkeit eine organische Leistung hervorgebracht wird, wo es gilt, an einem bestimmten Ort chemische Lebenswirkungen zu entfalten: Stoffe zu lösen, chemisch zu verändern, um sie für die Zwecke des Organismus verwendbar zu machen, oder unbrauchbar gewordene Substanzen lokal zu entfernen (wie in den Drüsen), dort sehen wir die meist, wenigstens in späteren Lebensstadien, mit einer rings geschlossenen Membran umgebene, rundliche Zelle in Thätigkeit.

Wo die Lebensthätigkeit der Zelle nicht direct auf den Ort, welchen sie einnimmt, beschränkt bleibt, wo Wirkungen auf weit abgelegene Organe von einem Centrum aus erfolgen, z. B. für die Lebensfunctionen des Nevensystemes, sehen wir die Zellengestalt zu den eigenthümlichen Nervenzellen verändert, die selbst mikroskopisch klein, ihre Verbindungsfäden, die Nervenfasern, von mikroskopischer Feinheit aber makroskopischer Länge nach den verschiedenen Richtungen aussenden, die verschiedenen Organe mit sich und unter einander verbinden und dadurch jenes Wundernetz herstellen, in dessen Bahnen die höchsten thierischen Functionen der Empfindung und Bewegung vermittelt werden.

Die mechanischen Kraftleistungen der Zellen beruhen auf Gestaltsveränderungen ihres Inhaltes, denen die elastische Zellmembran, wenn eine solche vorhanden ist, sich anschmiegt. Viel mehr Zellen, als man früher geglaubt hatte, zeigen das Vermögen der aktiven Gestaltveränderung; wir sahen, dass man dieses als eine allgemeine Eigenschaft des Protoplasma betrachten muss. Aber nur bei denjenigen Zellen wird dieses Vermögen der Contraction zu einem Grunde für eine bedeutendere Gestaltveränderung der Gewebe oder gar zur Ursache der Ortsbewegung des gesammten Organismus, bei denen die Gestalt eine solche ist, dass durch ihre Veränderung nach irgend einer Richtung bedeutendere Effecte erzielt werden. Die Gestalt der Muskelzellen steht mit ihrer mechanischen Lebensaufgabe in einem klaren Zusammenhang. Die langgestreckte, bandähnliche Form, die durch die Contraction in eine annähernd kugelige verändert wird, ist sicher am besten geeignet, Zug- und Druckwirkungen in weiterer Ausdehnung zu entfalten. Dadurch, dass Muskelzellen sich der Länge nach reihenweise aneinander schliessen, bewirkt die gleichzeitige Contraction der an sich mikroskopischen Gebilde einen makroskopisch-sichtbaren Effect. Bei den quergestreiften Muskelfasern wird aus der Zelle jener makroskopisch lange, fadenähnliche Körper, der Muskelprimitivcylinder, der die Ortsbewegungen des Gesammtkörpers vermittelt. Leicht liessen sich noch eine Reihe solcher Formbeziehungen zu den Lebensvorgängen in den Zellen auffinden.

II. Noch mannigfaltiger sind die Beziehungen der chemischen Mischung zu dem Zellenleben.

Primär scheint die chemische Zusammensetzung in den aus der Eifurchung hervorgegangenen Zellen die gleiche zu sein. Erst dadurch, dass der entstehende Organismus seine gleichartigen Bausteine zu verschiedenen Zwecken benutzt, indem er von den einen mechanische Leistungen bei der Herzcontraction verlangt, von den anderen nur Fortpflanzung und Sekretion, die allgemeinen Zellenthätigkeiten, wird ein Gegensatz in den chemischen Verhältnissen der verschiedenen Zellen gesetzt. Je nach ihren Leistungen sehen wir andere Oxydationsprodukte in den Zellen auftreten. Die Produkte der Zellenoxydation sehen wir nun die wichtigsten Einflüsse auf das Zellenleben äussern (J. Ranke). Sie wirken ähnlich wie die besprochenen anorganischen Bestandtheile der Zelle. Sie verändern die Reaktion des Zellensaftes, sie machen ihn alkalisch, sauer oder neutral und geben so Veranlassung, dass dieselben chemischen und physikalischen Agentien nun in den verschiedenen Zellen verschiedene Wirkungen entfalten. Die wahren Gährungserscheinungen, die einen ganz verschiedenen Verlauf nehmen je nach der Reaktion der Flüssigkeit, in der sie

statthaben, die sich dadurch nicht nur in ihrer Intensität, sondern auch in ihrer Qualität verändern, können als Beispiel dienen, um sich diese in den Zellen obwaltenden Verhältnisse zu veranschaulichen. Aber auch in anderen Beziehungen werden dadurch individuelle Verschiedenheiten in dem Zelleninhalte gesetzt. Die Lebensenergie der Muskelzelle steht in einem umgekehrten Verhältnisse zu der Menge der in ihr enthaltenen Milchsäure, die wir als ein Zersetzungsprodukt des Zellinhaltes kennen gelernt haben. Die Kohlensäure, das allgemeinste Produkt der organischen Oxydation, lähmt, wenn sie sich in grösserer Menge ansammelt, die Thätigkeiten der Nervenzellen und setzt die Intensität der Lebensvorgänge auch in den Muskelzellen herab. Der Harnstoff, welcher sonst für alle Zellen ein vollkommen indifferenter Stoff ist, wirkt nur auf eine ganz kleine Gruppe von Nervenzellen im Gehirn, welche die Uebertragung sensibler Reize auf die Muskeln (Reflexe) hemmen, und zwar in der Art, dass keine solche Uebertragung mehr stattfinden kann. Diese und ähnliche Beobachtungen geben uns den Beweis dafür, dass die Lebenseigenschaften der Zellen directe Functionen ihrer chemischen Zusammensetzung sind. So wie sich die chemische Mischung des Zellensaftes in wesentlicher Weise ändert, sehen wir auch die Intensität der Lebenseigenschaften der Zelle sich ändern.

Eine äusserst wichtige Beobachtung, welche uns Fingerzeige für die Beurtheilung mancher normaler und krankhafter Lebensvorgänge gibt, ist die, dass die Zellen verschiedenen Stoffen gegenüber sehr verschieden reagiren. Einzelne Stoffe sind für alle Zellen, wie es scheint, in weiteren Grenzen indifferent, wie der Zucker und die Natronsalze, andere Stoffe äussern nur auf ganz lokal beschränkte Zellengruppen eine Wirkung, während alle anderen Zellen durch ihre Anwesenheit nicht alterirt werden. Als ein Beispiel dafür kann der schon angeführte Harnstoff mit seiner Wirkung auf das Reflexhemmungscentrum im Gehirn gelten. Ihm schliesst sich die Hippursäure als gleichwirkend an. Die Gallensäuren, die mit Natron verbunden in so grosser Menge in der Leber gebildet werden, ohne dort die Zellenfunctionen zu beeinträchtigen, lösen die Blutkörperchen und lähmen den Muskel und das Nervensystem, wenn sie in grösseren Mengen in das Blut und von diesem aus in die genannten Organe gelangen. Bei manchen Stoffen ist die Wirkung in der einen Zelle mit einer Verminderung der Lebensenergie, in der anderen mit einer Erhöhung derselben verknüpft: so bei der Milchsäure und allen fixen organischen und unorganischen Säuren, die im Organismus frei vorkommen. Sie setzen die Leistungsfähigkeit des Muskels herab, ermüden ihn und machen ihn durch ihre Anwesenheit endlich vollkommen unfähig, sich zu contrahiren und damit Arbeit zu leisten, während sie gleichzeitig die Erregbarkeit des Nervensystems zunächst erhöhen. Der Zusammenhang der Lebenseigenschaften der Zelle mit ihrer chemischen Zusammensetzung geht aus diesen Beobachtungen mit aller Sicherheit hervor; freilich ist mit ihnen erst der Weg gezeigt, auf welchem die Forschung zu ihrem endlichen Ziele fortzuschreiten hat.

III. Der Zusammenhang der Lebenseigenschaften der Zelle mit den physikalischen Eigenschaften der sie zusammensetzenden Stoffe ist in ähnlicher Weise nachzuweisen.

Wie innig sehen wir die Lebensvorgänge mit dem Austausch der Flüssigkeiten und Gase, von Zelle zu Zelle und endlich in die Umgebung, verbunden. Das Leben der Zelle nimmt je nach der Intensität der fortwährend in ihr kreisenden electrischen Ströme seine eigenthümliche Richtung an. Die thierische Wärme ist zu allen animalen Vorgängen eine absolut nöthige Vorbedingung.

Den molekularen Bau der Zelle sahen wir oben von dem entscheidendsten Einfluss auf alle chemischen Vorgänge des Zellenlebens. Auch der gröbere Bau zeigt sich dafür von Einfluss, wie aus den Beobachtungen hervorgeht, dass die specifischen chemischen Lebensthätigkeiten der Zelle meist an die Anwesenheit des Zellkerns geknüpft sind. Ebenso glückt es uns leicht, Einwirkungen des Chemismus der Zelle auf ihre physikalischen Eigenschaften und der letzteren auf die Zellenform und vice versa zu entdecken.

Wir sehen durch die Diffusionsvorgänge beständig die Gestalt der Zelle wechseln. An Stelle diffundirbarer Stoffe, welche aus ihr heraustreten, nimmt sie zuerst meist ein weit bedeutenderes Quantum Wasser in sich auf; sie schwillt dadurch an und verändert sich, wie man dies schon makroskopisch an quellenden Geweben sehen kann, in der Art, dass sie sich möglichst der Kugelgestalt zu nähern strebt. Dass diese Gestaltveränderung auch auf die Nachbarzellen von Einfluss ist, geht aus den Veränderungen der Zellenformen hervor, welche durch gegenseitigen Druck hervorgebracht werden. Diese Ausdehnung der Zellmembran muss rückwärts wieder auf den Vorgang des Flüssigkeitswechsels in den Zellen von Einfluss sein; der von ihnen auf den Zelleninhalt ausgeübte Druck wird Flüssigkeit direct herauspressen, filtriren.

Auf diesem Wege haben auch die chemischen Veränderungen des Zelleninhaltes einen Einfluss auf die Zellengestalt. Durch die Oxydation in den Zellen werden leicht diffundirbare, krystallisirbare Substanzen gebildet, die durch Diffusion ausgewaschen werden und damit primär Wasser in die Zelle herein ziehen. Die Diffusion geht vollkommen Hand in Hand mit der chemischen Umsetzung, da durch letztere dem physikalischen Vorgang die Möglichkeit seiner stärkeren Bethätigung geschaffen wird. Auch die anorganischen Salze wirken in diesem Sinn; man darf aber nicht übersehen, dass diese vielfältig in der Zelle mit organischen, schwer oder gar nicht diffundirbaren Stoffen, z. B. Eiweiss, in chemischer Verbindung sich befinden, aus der sie erst durch die Zersetzung und organische Oxydation frei werden und dann erst ihr Diffusionsvermögen entfalten können.

In Beziehung auf die Leistung mechanischer Arbeit sehen wir auch die chemische Zusammensetzung bedingend. Wir wissen schon, dass der Muskel nicht mehr contractionsfähig ist, wenn er Milchsäure oder andere Säuren oder auch saure Salze (saures phosphorsaures Kali), auch neutrale Kalisalze und gallensaures Natron in sich angehäuft hat. In kleiner Menge reizt ihn dagegen die Milchsäure zur Contraction an (J. Ranke).

Die Electricitätsentwickelung steht in einer analogen Abhängigkeit von den chemischen Stoffen im Zelleninhalte. Der geruhte Muskel, der verhältnissmässig wenig Zersetzungsprodukte in sich enthält, entwickelt sehr bedeutende electrische Strömungserscheinungen. Durch die Anhäufung von Zucker in ihm — wie E. du Bois-Reymond zuerst gezeigt hat — kann sich

der electrische Muskelstrom wenigstens in seinen Wirkungen nach aussen steigern; durch die Anhäufung von Milchsäure (J. Ranke, Rober), gallensaurem Natron, Kalisalzen wird (J. Ranke) der electrische Strom sehr bedeutend geschwächt, unter Umständen sogar ganz vernichtet. Die Regelmässigkeit der electrischen Strömungserscheinungen in Muskeln und Nerven hängt von einem ähnlich regelmässigen chemischen Bau dieser Organe ab, der vielleicht auch in dem optischen Verhalten seinen Ausdruck findet.

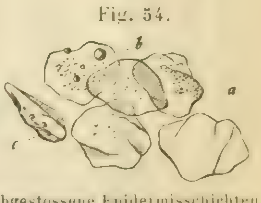
So zeigen sich uns also in Beziehung auf Form, chemische Zusammensetzung und physikalische Vorgänge in der Zelle und mit ihr im Gesammtorganismus deutliche Zusammenhänge. Ueberall erkennen wir Wechselbeziehungen, die in allen Lebenserscheinungen ein einfaches, einheitliches Gesetz vermuthen lassen. Wie dieses Grundgesetz des Lebens aber lauten mag, vermögen wir für jetzt nicht einmal zu ahnen.

Der Tod der Zelle.

Wir haben nur noch mit wenigen Worten den Untergang des thierischen Urorganismus: der animalen Zelle zu betrachten, nachdem wir die Vorgänge ihres Lebens und der Kräfte, die auf dasselbe einwirken, kennen gelernt haben.

Schon in einer der ersten Betrachtungen wurde darauf hingedeutet, dass im Allgemeinen die Mehrzahl der einzelnen Zellen oder besser Zellenformen im Organismus eine bedeutende Lebensdauer besitzen. Davon sind vor allem die Epidermis- und Epithelzellen ausgenommen, welche während des Lebens des Gesammtorganismus einem regelmässigen Absterben verfallen. Die obersten Lagen der verhornten Epidermis werden, nachdem sie fast ganz vertrocknet und eingeschrumpft sind, mechanisch losgestossen, abgeschuppt, während in den unteren feuchten Epidermisschichten eine Neubildung von Zellen erfolgt. Stets verhornen die obersten Zellenlagen wieder (Fig. 54). Ein ähnlicher Vorgang findet auch an den Epithellagen der Schleimhäute statt, z. B. in der Mundhöhle, wo man im Mundsafte stets abgeschuppte Epithelplatten findet. Der Schleim des Darmcanales, des Respirations-, Genital- und Harnapparates zeigt dieselbe normale Erscheinung von abgestossenen Zellen. Im Darmcanale ist die Abstossung theilweise ebenso mechanisch bedingt, wie an der Oberhaut, das Reiben der Darminhaltsmassen scheuert die Zellen ab. Anderentheils beruht die Zellablösung auf der chemischen Einwirkung der Verdauungssäfte auf die oberste Zellschicht, was besonders im Magen nachgewiesen ist. Ueberall auf Schleimhäuten und in den sogenannten Schleimdrüsen gehen die Epithelzellen jene eigenthümliche chemische Veränderung ein, welche schliesslich zur Mucinbildung in ihrem Inhalte und dann zur Zerstörung ihrer Zellmembran führt.

Fig. 54.



Abgestossene Epidermisschichten der menschlichen Haut

Ein Theil der in bestimmten Geweben gebildeten Zellen wird dort losgestossen in die Säftecirculation gebracht, wo die freien Zellen nach verschiedenen Metamorphosen zu Grunde gehen, indem immer neue Zellennachschübe geschehen. Hier sind vor allem die in den Lymphdrüsen gebildeten farblosen

kernhaltigen Lymph- oder Blutkörperchen sowie die rothen Blutkörperchen zu nennen. Theilweise wandern die freien Zellen aus dem Blute und der Lymphe in verschiedene Gewebe ein, um hier sich umzugestalten, und hie und da sogar an der Gewebsbildung sich zu betheiligen. Eine solche Losstossung einer Zelle ist auch die periodische Eireifung im Ovarium, welche beim menschlichen Weibe in der grössten Mehrzahl der Fälle, wenn die Befruchtung fehlt, zum Absterben der Eizelle führt, ebenfalls nach gewissen eigenthümlichen Umbildungen. Ein Theil der Drüsensekrete entsteht zweifelsohne durch den Zerfall der Drüsenepithelzellen, während ein anderer Theil durch Stoffabgabe aus den Zellen erfolgt. Haben die secernirenden Zellen eine Membran, z. B. Hodenzellen, so wird diese durch Druck von innen oder Auflösung chemischer Art gesprengt und die Inhaltsmasse wird damit frei.

Auch andere Zellen im Innern der Gewebe sehen wir dem allgemeinen Schicksale des Organisirten verfallen. Vor Allem sehen wir durch massenhafte Ansammlung von Fett im Protoplasma die Zellenthätigkeit gelähmt und die Zelle endlich vernichtet. Der Fettmetamorphose können alle Zellen jeder Körpergegend in pathologischen Fällen unterliegen. Durch Fettmetamorphose zerstört werden im physiologischen Vorgange die Zellen der Milch- und Talgdrüsen. Bei den Muskelfasern des Herzens zeigt sich fast regelmässig eine leichtere oder stärkere körnige Trübung des Inhaltes, wodurch die Querstreifung undeutlicher wird. Die in der Schwangerschaft sehr vergrösserten und wohl vermehrten glatten Muskelfasern des Uterus gehen durch dieselbe Umbildung nach der Geburt theilweise zu Grunde (Fig. 55, 56). Ebenso die Zellen des geplatzten Graaf'schen Follikels bei der Bildung des gelben Körpers: Corpus luteum. Auch die Anhäufung grösserer Mengen von Pigmentstoffen in den Zellen scheint unter Umständen ihren Tod herbeizuführen. Bei den Blutzellen wird, wie es scheint, der Untergang durch die Ansammlung des Hämoglobins eingeleitet, bei anderen Zellen, wie z. B. den Epithelzellen der Lungenbläschen, durch Einlagerung von Abkömmlingen dieses Farbstoffs, z. B. Melanin.



Fig. 55. Muskelfäden des Menschen in fortschreitender (*a*, *b*, *c*) Fettdegeneration begriffen.

Fig. 56. Entartungsformen thierischer Zellen. *a* Zellen des Graaf'schen Follikels mit Fett erfüllt; *b* Epithelien der Lungenbläschen mit Pigmenteinfüllung.

Auch die Einlagerung von Kalksalzen, von phosphorsaurem und kohlensaurem Kalk, kann schliesslich zum Zellenuntergange führen.

Nach dem Tode des Gesammtorganismus, nach dem Ausschneiden von Organen und Organtheilen sehen wir als Leichenerscheinungen bestimmte Veränderungen in allen Zellen vor sich gehen, welche zuerst zum Auftreten einer sauren Reaktion im Protoplasma, wohl meist zunächst durch Milchsäurebildung führt. Wo durch Säure fällbare Albuminmodificationen (Myosin etc.) sich finden, werden diese durch die spontan entstehende Säure niedergeschlagen wie im Muskel, in den Leberzellen, Flimmerzellen etc. Da-

durch verändern sich die physikalischen Eigenschaften dieser Zellen und Zellenabkömmlinge, sie verlieren ihre lebende Elasticität und werden starr: Leichenstarre. Das optische Aussehen verändert sich, da das gefällte Albuminat, das Anfangs gallertig und durchsichtig ist, in der Folge in Gestalt feiner Körnchen die Durchsichtigkeit trübt. Dabei treten Gestaltsveränderungen in den Zellen ein: sie suchen sich alle mehr oder weniger kräftig der Kugelgestalt zu nähern; wie an den gestreckten Muskelelementen, so sieht man dieses auch an allen mit lebender Contractilität ausgestatteten Zellen. Der erstarrende Muskel verkürzt sich und wird dicker, der ausgeschnittene Wadenmuskel des Frosches wird bei ausgebildeter Starre fast vollkommen kugelig; die amöboide Zelle zieht ihre Fortsätze ein und nimmt die runde Gestalt an, welche die ältere Mikroskopie allein an ihr kannte. Die Leberzellen platten sich dagegen durch wechselseitigen Druck eckig ab.

In anderen Organen, im Magen z. B., treten rasch noch weitere chemische Veränderungen ein. Durch das Auftreten der Säure in den absterbenden Geweben des Magens kommt das in den Labzellen im Drüsengrunde aufgespeicherte Pepsin zur Wirkung, und die Selbstverdauung, welche im normalen Leben nur die saure äusserste Oberfläche des Magens ergreifen konnte, schreitet nun in die Tiefe fort und zerstört die Magenwände, Leber, Eingeweide wenigstens zum Theil, welche vorhin durch alkalische Reaktion ihrer Gewebsflüssigkeiten vor der Verdauung geschützt waren.

Auf die Leichenstarre folgt mehr oder weniger rasch die Fäulniss der todten animalen Gebilde. Sie charakterisirt sich durch Auftreten ammoniakalischer Zersetzungsprodukte in der todten Zelle. Dadurch wird die Säure derselben zuerst neutralisirt, dann übercompensirt, die gefällten Eiweisskörper lösen sich wieder auf, die Leichenstarre löst sich.

Die erste Fäulnissveränderung der contractilen Substanz der Muskelfasern ist ein näheres Aneinanderrucken der Querstreifen, wodurch die Querstreifung undeutlicher wird (Falk). Zuerst ist die Faser gelblich und wie körnig bestäubt, schliesslich findet ein wahrer körniger Zerfall statt. Die Kornchen zeigen Fettglanz, doch bestehen sie nur theilweise aus Fett. Im weiteren Verlaufe scheint aber eine vollkommene postmortale Fettdegeneration: Leichenwachsbildung einzutreten, welche an Stelle des Muskels namentlich Ammoniakseifen treten lässt. Die Querstreifung geht in eine Längsstreifung über. Die Muskelkerne schrumpfen, verlieren das Kernkorperchen und verschwinden endlich ganz. Auch das Sarkolemma, das sonst so resistent gegen chemische Einwirkungen ist, löst sich. Nach den Erfahrungen der gerichtlichen Medicin scheint das Gewebe der glatten Muskelfasern (Uterus) viel resistenter zu sein als das der quergestreiften. Die Muskelfasern sind (an Muskelstücken) nach Arrigo Tamassia im Wasser nach 42, in der Erde nach 37, in der Luft nach 30 Tagen gänzlich verschwunden. Ebenso rasch zerfällt das weiche Bindegewebe in Wasser, während darin das Sehnengewebe erst am 75. Tag verschwindet. Sehr viel rascher verschwinden die letzteren Gewebe in der Erde und der Luft.

Die Blutkörperchen werden immer kleiner und kleiner, sie verlieren die Neigung an einander zu haften, und zerfallen in farblose und dunkle Kornchen. Die weissen Blutkorperchen sind, was man besonders an leukämischem Blute sehr deutlich sehen kann (J. Ranke), resistenter als die rothen. Wenn letztere ganz gelöst sind, können erstere noch unversehrt sein. Endlich schwindet der Kern und auch sie verflüssigen sich. Die Leberzellen verändern sich später als die rothen Blutzellen und die Muskeln. Zuerst schwinden die Kerne, die Zellen

werden trüb mit Körnchen dicht erfüllt; sie werden wieder rundlich oder oval und lösen sich in Körnchenmassen auf, in die man sie schon viel früher verwandelt findet, ehe die Lebergestalt im Grossen und Ganzen zerstört ist.

Der animale Organismus eine Kraftmaschine.

Nachdem wir im Allgemeinen die Gesetze kennen gelernt haben, unter deren Einwirkung die Lebensvorgänge im einfachsten animalen Organismus, in der Thierzelle, sich regeln, werden wir nun, gestützt auf diese Erkenntnisse, bei der Betrachtung des complicirten animalen Organismus des Menschen einen wesentlich veränderten Gang einschlagen können.

Wenn wir den Menschen nach seinen mechanischen Bewegungsvorgängen betrachten, so können wir ihn auffassen als eine Kraftmaschine, eine Maschine, die durch ihre mechanischen Einrichtungen die Spannkräfte in Arbeit umsetzt, welche ihr von aussen zugeführt werden durch die Nahrungsmittel, aus denen sie ihre einzelnen Maschinentheile und die Flüssigkeiten bildet, die zur Erhaltung und Kraftproduktion der letzteren nothwendig sind. Nach dieser Betrachtungsweise werden wir bei der Beschreibung des Baues und der Verrichtungen des menschlichen Organismus zweckmässig denselben Weg einschlagen können, nach dem man in der Mechanik eine Maschine und ihre Wirkungsweise beschreibt. Am meisten Aehnlichkeit hat die Maschine des menschlichen, im Allgemeinen des animalen Körpers mit den kalorischen Maschinen unserer Technik, bei denen chemische Spannkräfte, durch Verbrennung von Kohle und kohlereichen Stoffen geliefert, in mechanische Arbeit umgesetzt werden. Bei der Beschreibung einer derartigen Kraftmaschine und ihrer Leistungen können wir zuerst die passiv bewegten Theile von den aktiv bewegenden unterscheiden, und haben dann noch weiter zu fragen, in welcher Weise den letzteren die Kräfte zugeführt werden, welche sie in äussere Arbeit umsetzen.

Die mechanischen Einrichtungen des menschlichen Knochengerüstes entsprechen den bei einer Maschine passiv bewegten Hebeln, Rädern und anderweitigen Uebertragungsvorrichtungen, von deren Verbindungsart und Bau die specielle Leistungsfähigkeit der Maschine bedingt ist. Die Fähigkeit zu den einzelnen Bewegungen und Arbeiten, die wir den menschlichen Gesammtorganismus verrichten sehen, beruht auf den mechanischen Bedingungen seines Skeletes. Bei den Dampfmaschinen ist die Kraft, welche das complicirte Getriebe ihrer speciellen Arbeitsvorrichtungen in Gang setzt, eine linear wirkende Druck- und Zugkraft. Die lineare Auf- und Abwärtsbewegung des Stempels setzt sich in die verschiedenartigsten Bewegungen um. Auch durch die Hebelmechanismen des menschlichen Körpers werden einfach linear wirkende Zugkräfte, die lineare Verkürzung und Wiederverlängerung der Muskeln, in die mannigfachen Bewegungen umgewandelt, die er auszuüben vermag. Durch Röhren wird der gespannte Wasserdampf dem Kolben zugeleitet und dadurch derselbe in Bewegung versetzt. Bei Verschluss der Leitungsröhre hört die Kolbenbewegung und damit die gesammte Maschinenbewegung auf, der dann Bewegungsantrieb und die

zur Bewegung verwendbare Kraft mangeln. Bei dem menschlichen Organismus sehen wir durch den Nerven den Bewegungsantrieb in ganz analoger Weise dem eigentlichen Arbeitsorgan, dem Muskel zugeführt. Die Zuführung des Kraftmaterials erfolgt auf einer zweiten Bahn, durch die Ernährungsgefässe. Hier treffen wir auf den ersten principiellen Unterschied zwischen den kalorischen Maschinen unserer Technik und dem animalen Organismus, der durch Zersetzung seiner Arbeitsapparate selbst sich Arbeitskraft zu liefern vermag.

Bei der weiteren Betrachtung des menschlichen Organismus als Bewegungs- und Arbeitsmaschine stossen wir nun zunächst auf die Frage, wodurch den Nerven selbst der Bewegungsantrieb ertheilt wird, durch den sie die Muskeln in Aktion setzen. Wir werden dadurch auf die Betrachtung der animalen Einrichtungen geführt, durch welche die Reize der Aussenwelt in Nerven-, Muskel- und Skeletbewegungen umgesetzt werden: die äusseren und inneren Sinnesapparate und Reflexvorrichtungen. Wir kommen dann zu der schliesslichen Hauptfrage, ob auch durch innere centrale Vorgänge selbst Wille diese Bewegungen ausgeführt werden können, die wir in der Mehrzahl der Fälle aus äusseren Gründen eintreten sehen; wir werden auf diese Weise zu den letzten Problemen der Gehirnphysiologie geführt.

Um den Modus und die Bedingungen für die Bewegung und Arbeitsleistung unserer animalen Maschine zu studiren, haben wir uns noch näher zu fragen, woher und wie die Kräfte geliefert werden, die wir von der Maschine nach aussen verwendet sehen, und in welcher Weise sie in Stand erhalten wird. Bei der kalorischen Maschine kommt hier das Heizmaterial und die Heizvorrichtung zunächst in Betracht, durch welche letztere die bessere oder schlechtere Ausnutzung der durch die Verbrennung erzeugten lebendigen Kräfte bedingt wird. Die Abnutzung der Maschine durch die Arbeit erfordert Reparaturen, Neueinsetzung ausgebrochener Stücke etc. In dem menschlichen Organismus dienen diesen verschiedenen Zwecken die Ernährungs- und Stoffwechselvorgänge. Eine grosse Anzahl der wichtigsten Organe des menschlichen Körpers sind mit der Aufgabe der Stoffaufnahme, Stoffabgabe und Stoffumwandlung beschäftigt. Die im letzten Grunde von dem Pflanzenreiche gelieferten Nährsubstanzen werden zunächst in die Säftemasse des Körpers durch die Thätigkeit der Verdauungsorgane übergeführt, die einen sehr bedeutenden Theil des Gesammtkörpers ausmachen. Die Säftemasse dient der Erneuerung und dem Wachsthum aller Körperorgane, sie führt ihnen Bau- und Kraftmaterial zu und dafür die Stoffe ab, die im Haushalte des Organes ausgedient haben, um sie theils anderen Organen zur weiteren Benutzung oder zur Ausscheidung zu übergeben.

In der Betrachtung der Gesammtleistungen des menschlichen Organismus als Kraftmaschine können diese organ- und kraftproducirenden Vorgänge mit ziemlich gleichem Rechte an den Anfang oder an das Ende der Darstellung verwiesen werden. Wir nehmen sie im Folgenden zum Ausgangspunkt unserer Darstellung, und zwar darum, weil sie unter den physiologischen Vorgängen im animalen Organismus sich noch zunächst an die Hauptvorgänge in den Pflanzen anschliessen. Wir kommen so, indem wir nach der alten Ausdrucksweise von den vegetativen Vorgängen zu den animalen und hier von den niederen zu den höheren und höchsten fortschreiten, zu einer gegliederten Darstellung, die in

gewissem Sinne der Gesammtentwickelung der organisirten Natur entspricht.

Die sogenannten vegetativen Vorgänge der Stoffaufnahme, Stoffabgabe, Stoffzersetzung und des Stoffaustausches bezeichnen wir als:

Stoffwechsel.

Der Stoffwechsel liefert dem animalen Organismus die Möglichkeit der:

Arbeitsleistung,

unter welchem Ausdrucke wir die gemeiniglich als »animale« bezeichneten Lebensvorgänge zusammenfassen können.

In diese beiden Hauptabschnitte gliedert sich unsere Aufgabe.

Specielle Physiologie.

I.

Die Physiologie des Stoffwechsels.



I. Die Ernährung.

Viertes Capitel.

Die Nahrungsmittel.

Begriff des Nahrungsmittels.

Wir kennen die Stoffe, aus denen die Nahrung der animalen Zelle zu bestehen hat; auch die allgemeinen Grundgesetze der Ernährung thierischer Organismen sind uns bekannt; wir haben noch die Einzelverhältnisse kennen zu lernen, in welchen sie bei dem Menschen zur Geltung kommen.

Von den einfachen Nahrungsstoffen: Eiweiss, Fette, Kohlehydrate, Wasser, Kochsalz, phosphorsaures Kali etc., werden nur sehr wenige einzeln für sich genossen (Zucker z. B.); meist werden viele mit einander gemischt, nachdem sie noch einer mehr oder weniger eingreifenden Zubereitung unterlagen, als sogenannte Nahrungsmittel aufgenommen; durch die Zubereitung werden die Nahrungsmittel zu: Speisen. Die Natur selbst lehrt uns, die Nahrungsstoffe zu mischen. Fast alle Substanzen, die sie uns zur Ernährung darbietet, Wasser, Milch, Getreidesamen, Fleisch etc. etc. sind nicht einfache Nahrungsstoffe, sondern Gemische von solchen, die mehrere Ernährungszwecke gleichzeitig erfüllen. Die Eier eierlegender Thiere können als Beispiele vollkommener Nahrungsmittel dienen. Sie enthalten nach unserer S. 95 gegebenen Darstellung alle Stoffe, die der animale Organismus zum Aufbau seiner Organe bedarf.

Das Wasser.

Das Wasser[1]) spielt im thierischen und menschlichen Leibe die Rolle eines Vermittlers der wichtigsten chemischen und physikalischen Vorgänge. Der Körper des Menschen und der höheren Säugethiere besteht zu 58,5% aus Wasser, das an dem organisirten Bau sich wesentlich betheiligt. So ist schon das reine Wasser an sich ein wichtiger Ernährungsstoff. Noch mehr aber gewinnt es an Bedeutung dadurch, dass es vom Menschen nicht in chemischer

---

1) Ueber Luft vergleiche man bei Athmung und Ventilation.

Reinheit genossen wird, sondern beladen mit einer Menge anderer für den Haushalt des Organismus wichtiger organischer Stoffe.

Das Wasser besitzt die Fähigkeit, beinahe alle Stoffe aufzulösen. So kommt es, dass das Quell- und Flusswasser, welche vorzüglich zum Trinken dienen, mit den festen und gasförmigen Stoffen, je nach ihrer Löslichkeit, mehr oder weniger beladen sind, welche ihnen unterwegs in der Luft- oder Erdschicht begegnen, die sie durchsetzten. Manche Quellwasser enthalten eine sehr grosse Menge derartiger Beimischungen und erhalten dadurch den Charakter der Mineralquellen. Aber auch im gewöhnlichen Trinkwasser sind jene in bedeutender Quantität vorhanden und man darf sich so wenig verleiten lassen, sie etwa als Verunreinigungen desselben aufzufassen, dass ihre Abwesenheit sogar das Wasser zum Genusse untauglich macht. Es fehlen die Mineralbestandtheile im Regenwasser sowie im destillirten Wasser, beide können erst durch Zusatz von Salzen — entweder solcher, die das Wasser freiwillig aus dem Boden, der Cysternenwand etc. auslaugt, oder durch Zusatz von Kochsalz — zum Gebrauche als Trinkwasser tauglich gemacht werden. In wasserarmen Gegenden, z. B. auf der schwäbischen Alp, wo nur Regenwasser zu Gebote steht, hat der natürliche Instinkt den Bewohnern seit den ältesten Zeiten gelehrt, dem Cysternenwasser Kochsalz zuzusetzen (J. Ranke).

Das Wasser enthält je nach dem Zustande der Witterung eine wechselnde Menge von Luftbestandtheilen, welche sich bekanntlich beim Kochen, aber eben so bei dem Gefrieren als Luftblasen ausscheiden. Auf der Gegenwart der Luft im Wasser beruht seine Fähigkeit, thierischen Organismen — Fischen etc. — welche zur Erhaltung ihres Lebens Sauerstoff bedürfen, als Aufenthaltsort dienen zu können; im Wasser der Quellen fehlt der Sauerstoff meist fast gänzlich, woher es rührt, dass sich in den frischesten Quellen keine Fische und Thiere halten können, sie müssen aus Luftmangel ersticken. Ein Forellenbach hat bei seinem Ursprung keine Fische, erst wenn sein Wasser längere Zeit mit der Luft in Berührung war, ist es für thierische Organismen athembar. Die Luftmenge beträgt etwa $^1/_{30}$ — $^1/_{20}$ des Volumens des Flusswassers, so dass in 1 Kubikfuss Wasser $33^1/_3$, 40 bis 50 Kubikzoll Luft enthalten sind. Die uns bekannte Wirkung der Gesetze der Gasdiffusion verursacht, dass die Luft im Wasser weit sauerstoffreicher ist als die atmosphärische.

In 100 Kubikfuss Wasser sind im Durchschnitt

	dem Volum nach:	dem Gewicht nach:
Sauerstoff	1280 K. Z.	28.66 Gramm,
Stickstoff .	2560 bis 2640 -	50.71 bis 52.30 -
Kohlensäure	80 bis 260 -	2.47 bis 2.95 -

Wie aus dem über das Quellwasser Gesagten erhellt, ist der Sauerstoff im Wasser nicht nöthig, um ihm Wohlgeschmack zu verleihen. Letzterer nimmt dagegen mit der steigenden Menge an Kohlensäure zu, an der das Quellwasser sich stets ziemlich reich zeigt. Die Verhältnisse dieser Luftbestandtheile des Wassers sind in dem der Luft ausgesetzten Wasser ebenso gleichbleibend wie die Zusammensetzung der Atmosphäre. Desto verschiedener sind die mineralischen beigemischten Stoffe, die sich je nach den verschiedenen, im Boden, den das Wasser durchsetzte, anwesenden Mineralbestandtheilen richten.

Nach den Untersuchungen von Bouchardat und Colin insbesondere führen

die Wasser der Flüsse und Seen Frankreichs und der Schweiz sehr verschiedene Mengen an Mineralbestandtheilen. Es stellt sich heraus, dass sie der Hauptsache nach kohlensaure und schwefelsaure Salze und Chlorverbindungen namentlich von Erden, besonders Kalk enthalten, die Salze der Alkalien treten dagegen zurück. Die kohlensauren Erden sind nur durch Vermittelung der freien Kohlensäure als doppeltkohlensaure Salze gelöst. Der Kalk ist in so grosser Menge im Trinkwasser kalkreicher Gegenden enthalten, dass nach den Untersuchungen von BOUSSINGAULT seine Menge hinreicht, den heranwachsenden Thieren die ihnen zur Bildung ihrer Knochen nothwendige Kalkerde zu liefern. Er berechnete, dass auf seinem Landgute ein Ferkel in drei Monaten 1/3 Pfund Kalk im Trinkwasser erhalten habe, und dass sein Gutsbrunnen im Jahre dem Vieh 2000 Pfund Kalk, Bittererde und Kochsalz zuführe. Wir sehen, dass schon das Trinkwasser meist allein hinreichte, wenn auch die übrigen Nahrungsmittel keine anorganischen Nahrungsstoffe mehr führen würden, den menschlichen Organismus mit diesen nothwendigen Substanzen zu versehen.

Hygieinische Bemerkungen. — Man fordert von einem guten Trinkwasser folgende Eigenschaften: es muss klar, farb-, geruch- und geschmacklos sowie frisch und kühl sein; es darf im Liter von organischen Substanzen nicht mehr als 0,050 Gramm, von salpetriger Säure und Salpetersäure nicht mehr als zusammen 0,005 Gramm, von Ammoniak (als kohlensaures Ammoniak im Wasser enthalten) nicht mehr als 0,010 Gramm, von festen Bestandtheilen im Ganzen nicht mehr als 0,500 Gramm enthalten. Alles übelriechende und übelschmeckende, sowie getrübtes und gefärbtes Wasser ist von vorneherein als Trinkwasser verdächtig, doch nicht immer schädlich. Schwefelwasser z. B. schmecken und riechen widerlich; Trübung durch etwas kohlensauren Kalk etc., nach Regen oder Färbung des Wassers durch humöse Substanzen in moosigen Gegenden sind unschädlich. Doch sind im Allgemeinen die organischen Stoffe und die salpetrig- und salpetersauren Salze als wahre Verunreinigungen des Trinkwassers zu betrachten. Die salpetrig- und salpetersauren Salze des Wassers — salpetersaures und salpetrigsaures Ammoniak — sind nur zum kleinsten Theile in der Atmosphäre gebildet, wo sie namentlich bei Gewittern entstehen. Zum grössten Theile stammen sie wie die organischen Beimischungen daher, dass Flüssigkeit aus Kloaken, Gossen, Bierbrauereien etc. in Brunnen hineinsickert oder in die Flüsse geleitet wird und so das Trinkwasser verpestet, und Ursache zu den mannigfachsten Erkrankungen wird, die Gesundheitsverhältnisse ganzer Städte oder einzelner Lokalitäten vorübergehend oder für immer verschlechtert. Das Wasser ist ein Verbreitungsmittel für faulende, krankheiterzeugende Stoffe. Es wird durch lokale Verhältnisse — Nähe der Kloaken am Brunnen z. B. — verständlich, wie einzelne Häuser für sich z. B. Typhusherde sein können, während daneben stehende, von anderem Wasser versorgte Wohnungen vollkommen gesund sind. Nach v. PETTENKOFER spielt bei der schädlichen Einwirkung des Wassers gleichzeitig stets auch der Boden mit, welcher durch das Wasser mit verunreinigt wird. Das Wasser solcher verunreinigter Brunnen beherbergt eine ganze Flora und Fauna von Wesen, die besonders auf und unter den Steinen sitzen, welche den Brunnengrund bilden. Sie haben durch RADLKOFER eine ausführliche Untersuchung gefunden.

Von den organischen Formtheilen des Schlammes erscheint der eine Theil als völlig fremdartige, nur zufällig von aussen herbeigeführte Beimengung; ein zweiter Theil als aus der unmittelbaren Umgebung des Brunnens (seiner Bedeckung und Umfassung) stammend; ein dritter Theil endlich als wesentliche organische Beimengungen von im Wasser des Brunnens selbst lebenden Organismen gebildet.

Besonders die Zahl der zufälligen Beimengungen wird sich durch weitere Untersuchungen sehr vermehren lassen. Sie sind unter Umständen die wichtigsten, wie der unten angeführte Fall der Cholerainfektion zeigt.

Radlkofer zählt als zufällige Beimengungen aus dem Thierreiche stammend auf: Haare von Mäusen und Ratten, gefärbte Wollfasern, Theile von Vogelfedern.

Aus dem Pflanzenreiche: Oberhautfetzen von verschiedenen Pflanzen und Pflanzentheilen, bald mit, bald ohne Spaltöffnungen; Pflanzenhaare; Zellen aus der Kartoffelschale; Gefässbündelnetze von Blättern; abgestorbene, isolirte oder zusammenhängende Zellen aus dem Innern von Rinden und Blättern; Rindenzellen aus Bäumen; Strohstückchen; von Holz-Fasern und Stückchen.

Aus der unmittelbaren Umgebung des Wassers stammten an Thierüberresten: Leichen kleiner Würmchen und im Wasser lebender Insectenlarven, Leichen von Milben, Borsten von der Hautbedeckung eines niederen Thieres.

An Pflanzen: Fasern und Bruchstücke von der Holzbedeckung des Brunnens, darin oder frei braune gegliederte Pilzfäden (Hyphomyceten) mit den Pilzsporen: einzellige spitzweckförmige, in grosser Anzahl neben einander liegend; zwei-, vierzellige, stumpf keulen- und birnenförmige; zwei-, fünfzellige, spindel- oder mondsichelförmige von einem Fusisporium oder Selenosporium. Aus dem modernden Holzwerk war ein kleiner Pyrenomycet.

Als wesentliche Gemengtheile, deren Dasein von dem Wasser des Brunnens selbst abhängig erscheint, bezeichnet er als thierische (nach Bestimmungen von Siebold): Verschiedene lebende, geissel- und cilientragende Infusorien, den einfacheren Formen angehörend (Monadinen); Gehäuse von abgestorbenen Panzerinfusorien (Cryptomonadinen); encystirte Protozoën (Amoeba): lebende, in Bewegung begriffene Amoeben; eine kleine Crustacee (Cyclops quadricornis). Als pflanzliche: Pilzfäden, zartere farblose und derbere gelbliche, mit mehr verholzter Wandung; Selenosporium; Pilzalgen (Hygrocrocis); Diatomeen und Reste davon (Navicula, Pinnularia), Zellen von Pediastrum ähnlichen Algen; Zellen von Bacterium und anderen Vibrionen; endlich zahlreiche graulich-gelbliche Flocken einer chlorophylllosen Alge (Palmella flocculosa Radlkofer), die sich in allem Quellen- und Brunnenschlamm findet.

Es ist klar, dass der Gehalt des Wassers an Salpetersäure (resp. salpetriger Säure, deren gleichzeitige Anwesenheit wir neben der Salpetersäure im Folgenden stets stillschweigend voraussetzen) nicht ohne Einfluss auf die Menge der im Wasser gelösten Stoffe sein kann. So kommt es, dass die am meisten verunreinigten Brunnen auch bei Weitem die grösste Menge anorganischer Stoffe gelöst enthalten.

In den Trinkwassern der Städte ist der Salpetersäuregehalt schwankend. Wagner gibt folgende Tabelle; die Zahlen bedeuten Grammen im Liter:

	München.	Dorpat.	Berlin.	Leipzig.	Dresden.	Stettin.
Minimum:	0,057	0,0012	0,006	0,065	0,043	0,021
Maximum:	0,310	0,8160	0,358	0,347	0,459	0,267

Nach Müller ist schon ein Gehalt von 0,004 Gramm Salpetersäure bedenklich als durch Verunreinigung erzeugt. Die Salpetersäure kann im Wasser durch faulende organische Substanzen in Ammoniak zersetzt werden. Die Schwankungen im festen Rückstand der Brunnenwasser zu verschiedenen Zeiten sind sehr bedeutende, wie Schmidt für Dorpat fand und Wagner für München, Andere für andere Orte bestätigten.

Ein Liter Wasser des gleichen Brunnens ergab an festem Rückstand (Wagner):

1. April	0,56 Grm.
20. April	0,68 -
24. Mai	1,07 -
8. Juni	1,00 -
15. Juni	0,97 -
30. Juni	0,93 -
14. Juli	0,85 -
28. Juli	0,88 -
5. August	0,83 -
9. September	0,70 -

24. September . . . . 0,65 Grm.
8. October . . . . . 0,60 -
22. October . . . . . 0,58 -

Bei vier anderen schlechten Brunnen fand er: 0,59 bis 3,26; 0,83 bis 2,01; 0,57 bis 2,14; 1,14 bis 1,68 Grm.

WAGNER fand, dass bei nasser Witterung der Gehalt des Brunenwassers an festem Rückstand zu-, bei trockenem Wetter abnimmt. Es hat das darin seinen Grund, dass den Brunnen durch das zuströmende Regenwasser mehr Auslaugungsprodukte von Abfällen, Excrementen etc. zugeführt werden. Es zeigte sich, dass bei einer allgemeinen Zunahme der festen Bestandtheile des Wassers der Gehalt an Alkalien vorwiegend aus Excrementen stammend in einem ungemein rasch wachsenden Verhältniss steigt.

In Gegenden der Kalkformation stammt der Kaligehalt des Wassers zum Theil aus den thierischen und pflanzlichen Zersetzungsprodukten, deren Reste in das Wasser gelangen. Zunahme an Kali ist dann ein Zeichen von zunehmender Beimischung derartiger Zersetzungsprodukte. Die Vergleichung der Beobachtungen FEUCHTINGER's mit denen WAGNER's, welche zeitlich 10 Jahre aus einander liegen, zeigen, dass in diesem Zeitraum in München von 0 bis zu einer beträchtlichen Höhe der Kaligehalt des Trinkwassers gestiegen ist.

Es ist einleuchtend, wie wichtig die Kenntniss dieser Verhältnisse für den Arzt ist, der allein schon dadurch, dass er schädliches Trinkwasser vermeiden lässt und für gesundes sorgt, eine Reihe von Krankheiten verhüten kann. In einem doppelten siebenjährigen Durchschnitt ergibt sich, dass, seitdem 1859 die Copenhagener Wasserleitung vollendet ist, sich daselbst die Todesfälle an typhoiden Fiebern, Scharlach, Skrophulose und Tuberkulose vermindert haben (E. HORNEMANN). Aehnlich günstig erscheinen die Wirkungen der Versorgung mit gesundem Trinkwasser in anderen Grossstädten.

Man ist geneigt, weil es für kleinere Ortschaften verhältnissmässig leicht ist, reines Trinkwasser zu verschaffen, dieser Bedingung der Gesundheit dort weniger Aufmerksamkeit als in grossen Städten zu schenken, doch liegt es auf der Hand, dass überall lokale Schädlichkeiten der schlimmsten Art gegeben sein können, die um so ungestörter und nachhaltiger einwirken, wenn sie nicht beachtet werden. Es ist überall eine der grössten Aufgaben der Ortsverwaltung, für reines, gesundes Trinkwasser zu sorgen. Der Arzt als Gesundheitsrath muss über die Grundprincipien der Frage im Klaren sein. — Es leuchtet ein, dass vor Allem darauf gesehen werden muss, dass die Anlage der Kloaken und Abflusscanäle nicht so erfolgt, dass sie ihren Inhalt durch den Boden in benachbarte Brunnen ergiessen können. Gehörige Entfernung beider ist das beste Mittel der Verhütung, im Nothfalle müssen die Wände der ersteren cementirt werden, was jedoch nicht absolut schützt. Die Versorgung der Städte mit Wasserleitungen von gesundem Quellwasser verhütet diese gefürchtete Verunreinigung. Bleiröhrenleitungen ertheilen dem Trinkwasser einen geringen Bleigehalt, wenn das Wasser nicht schwefelsauren Kalk führt, der das Blei als unlösliches schwefelsaures Blei niederschlägt. Nach v. PETTENKOFER greifen alle »harten« Wasser, welche Kohlensäure und kohlensauren Kalk gelöst enthalten, das Blei weniger an. Man hat niemals von der Anwendung des Bleies zu Wasserleitungen nachtheilige Folgen gesehen, wenn das Wasser nicht mit der Luft in Berührung in den Röhren oder Reservoirs (cf. die Beobachtungen von WORMS und LAVERAU auf der folgenden Seite) stagnirte. Eiserne Röhren werden um so mehr angegriffen, je mehr das Wasser Sauerstoff und Kohlensäure enthält, darum rosten sie in Quellwasser, das wenig Sauerstoff führt, weniger als in Fluss- und Regenwasser. Bildet sich mit der Zeit eine Kruste von Eisenoxydhydrat, so erschwert diese den Zutritt des Sauerstoffs zum Metall, daher führt das Wasser aus frischen eisernen Röhren mehr Eisen als aus alten. Ein geringer Eisengehalt des Wassers ist der Gesundheit mehr zuträglich als schädlich. Zink, das oft zu den Sammelbassins von Wasserleitungen angewandt wird, ertheilt dem Wasser, das längere Zeit mit ihm in Berührung steht, einen Zinkgehalt, der um so beträchtlicher wird, je reicher das Wasser an Chlorverbindungen ist. ZIUREK fand in Wasser, das längere Zeit in einem Zinkreservoir

gestanden hatte, einen Gehalt von 1,0104 Gramm Zink im Liter. Er rath, die Zinkbassins mit Ockerfarbe oder Asphaltlack anzustreichen.

Wir müssen stets mit gegebenen Grössen rechnen, so auch hier. Ist das Trinkwasser schlecht und ungesund, und ist es nicht möglich, die hieraus hervorgehenden Schädlichkeiten durch Herbeischaffung gesunden Trinkwassers zu vermeiden, so müssen Anstalten getroffen werden, das vorhandene Wasser von seinen Verunreinigungen zu befreien.

Das Kochen des Wassers zerstört die schädlichen organischen Beimengungen, treibt aber auch alle Luft aus und macht dadurch das Wasser unschmackhaft. Im Nothfall kann es trotzdem Anwendung finden, wenn man es nach dem Erkalten einige Zeit mit Luft geschüttelt hat oder nur offen an der Luft hat stehen lassen.

In Paris dient das Seinewasser fast ausschliesslich als Trinkwasser. Es muss, wie das anderer als Trinkwasser benutzter Flüsse, vor dem Gebrauche von den erdigen Bestandtheilen, die es enthält, gereinigt werden. Diese erdigen Bestandtheile, welche das Flusswasser führt, sind von den Mineralbestandtheilen, die wir vorhin betrachtet haben, wesentlich zu unterscheiden. Erstere bestehen der Hauptmasse nach aus Thon oder kohlensaurem Kalk und sind, ohne gelöst zu sein, im Wasser suspendirt, besonders nach starkem Regen- und Thauwetter, und setzen sich äusserst langsam ab. Abgesehen von diesen erdigen Beimischungen ist das Flusswasser gewöhnlich weit ärmer an festen Mineralbestandtheilen als das Quellwasser, da die Flüsse zum Theil durch Regenwasser gespeist werden, welches bei seinem raschen Abfluss keine Zeit hatte, eine grössere Menge jener Stoffe zu lösen. Die Loire bei Orléans enthält nach Guidaut nur 0,068 Grm. feste Stoffe im Liter Wasser; das Elbewasser bei Dresden nach Petzholdt 0,300 Grm., während das Wasser z. B. des Kreuzbrunnens in Dresden 1,000 Grm. feste Theile enthält. Die Reinheit des Quellwassers an aufgeschlemmten, erdigen Beimengungen, sowie sein Reichthum an gelösten Mineralbestandtheilen, welche es zu seinem Vortheil von dem Flusswasser unterscheiden, sind beide Folge des Filtrationsprocesses, welchen es bei seinem langsamen Durchsickern durch den porösen Boden durchzumachen hat. Hier werden ihm auch organische Beimischungen wenigstens zum Theil entzogen, indem sie jenen oben genannten Organismen als Nahrungsstoffe dienen.

Man ahmt bei dem Wasserreinigungsprocess diesen natürlichen Filtrationsprocess nach. In Venedig hat man filtrirende Cysternen, bei welchen das Regenwasser in grossen wasserdichten, mit einer Thonlage belegten Gruben gesammelt wird, welche mit Sand gefüllt sind. In der Mitte geht durch den Sand ein Schacht nieder, welcher trocken gemauert und mit Oeffnungen im Mauerwerke versehen ist. Das aussen auf den Sand geleitete Wasser sickert durch diesen in den Schacht, aus dem es durch Schöpfeimer, gereinigt und mit gelösten Mineralbestandtheilen geschwängert, gehoben werden kann. Die Reinigung des Flusswassers im Grossen geschieht auf ähnliche Weise, wie eben angegeben. Es wird in Filterbeete geleitet, welche ohne Mörtel gemauerte Schachte enthalten, auf einem Lehmgrund aufstehend. Etwa 6′ hoch ist diese grosse »Lehmschüssel« zu unterst mit Geröll, dann mit grobem, endlich feinem Sand gefüllt. Diese Schichten muss das Wasser durchsetzen, um in die Schachte zu gelangen. In den Familien in Paris sind Filter gebräuchlich, welche aus einem Kasten bestehen mit doppeltem Boden. Der obere, auf den das zu filtrirende Wasser aufgegossen wird, besteht aus einem porösen Steine (grès filtrant genannt), der das Wasser klar durchsickern lässt, welches unten aus dem Behälter durch einen Hahn abgelassen werden kann. Um das Wasser nicht nur von seinen mechanisch beigemischten, sondern auch von seinen organischen Verunreinigungen zu befreien, dient am zweckmässigsten eine Filtration durch Holzkohle, welche die Eigenschaft hat, riechende, faulende, faulig schmeckende Substanzen mit grosser Kraft den Flüssigkeiten zu entziehen und durch Oxydation zu verändern.

Bei dem Filtriren des Flusswassers im Grossen ist manchmal der Reinigungsprocess nur sehr unvollkommen. In London liess es sich nachweisen, dass durch solches Trinkwasser Choleraexkremente in die Häuser eingeschleppt wurden, welche die Krankheit weiter verbreiteten. Der Stadttheil Londons, den die East-London-Company mit Wasser versorgte,

wurde 1866 vorzugsweise von der Cholera betroffen, und es wurde amtlich constatirt, dass diese Gesellschaft in ihre Wasserwerke das Wasser des Leaflusses und eines stagnirenden Reservoirs, ohne es vorher zu filtriren, eingelassen haben. Der Berichterstatter schreibt das heftige Auftreten der Krankheit der Vermischung von Choleradejektionen mit dem Flusswasser zu. Französische Aerzte LAVERAU und WORMS, sahen aus anderweitig verunreinigtem Wasser aus lange ungereinigten Bleireservoirs im Sommer lokale typhusähnliche Epidemien entstehen. Es ist dieses ein Beweis dafür, wie wichtig es ist, überall, wie das alte Rom es that, Quellwasser den Städten zuzuleiten. Für den Kopf bedarf man etwa für den Wasserverbrauch im Hause 25—30 Liter in 24 Stunden (VON PETTENKOFER).

Man pflegt den Wasserfiltern in ihrem Inhalt, der im Kleinen wie im Grossen aus Schichten von gewaschenem Sand und grösseren Kieseln bestehen kann, auch etwa erbsengrosse Stücke von Kohle beizumischen, welche das filtrirende Wasser zugleich desinficiren. Will man nur den letzteren Zweck erreichen, so benutzt man Filter, welche das Wasser nur durch eine Kohlenschicht laufen lassen, wie sie von London her eingeführt sind.

Nicht nur die Verhältnisse des Wassers, welches wir trinken, sondern auch das im Boden, auf dem wir wohnen und leben, enthaltene Wasser hat Einfluss auf unsere Gesundheit. Auf sumpfigem Boden treten verschiedene Krankheiten besonders stark auf: z. B. Wechselfieber, Malaria. Der Wasserstand im Boden, den man an dem Wasserstand in Brunnenschachten messen kann: Grundwasser (v. PETTENKOFER), ist nicht nur an verschiedenen Orten, sondern auch an demselben Orte zu verschiedenen Zeiten sehr bedeutenden Schwankungen unterworfen. Mit diesen Schwankungen steigt und fällt nach PETTENKOFER die Disposition der Bewohner solchen Bodens für gewisse Krankheiten, die man als »Bodenkrankheiten« bezeichnen kann. Vor Allem sind es der Typhus, die Cholera und das Wechselfieber, nach RODER auch Ruhr, die in einem solchen Wechselverhältniss mit den Schwankungen des Grundwassers stehen. Für erstere Krankheit behauptet BUHL, dass bei epidemischem Auftreten derselben das Maximum der Sterblichkeit, also die Höhe der Krankheit mit dem tiefsten Stande des Grundwassers zusammenfällt. Das Wechselfieber zeigt sich bei dem höchsten Grundwasserstand, wenn wir also auf einem uns und unseren Wohnhäusern auf wenige Fusse nahegerückten unterirdischen See wohnen.

In Beziehung auf die Cholera sagen, vornehmlich auf PETTENKOFER's Untersuchungen gestützt, GRIESINGER, PETTENKOFER und WUNDERLICH:

Auf die örtliche und zeitliche Dispostion haben, nach dem gegenwärtigen Stande der Forschung, die Durchgängigkeit des Bodens für Wasser und Luft, dessen wechselnder Wassergehalt und die Imprägnirung mit organischen, stickstoffhaltigen verwesenden Stoffen den grössten Einfluss. — Ein für Wasser oder Luft nicht oder nur sehr wenig durchgängiger Boden (z. B. compacter Felsboden) zeigt sich für eine epidemische Entwickelung nicht oder nur sehr wenig empfänglich. — Poröser Boden oder auch Felsboden, der sehr zerklüftet ist, und dessen zahlreiche Klüfte bis zu einer grösseren Tiefe hinab mit geschlämmter imprägnirter Erde ausgefüllt wird, gewähren einen solchen Schutz nicht. — Wenn eine abnorme Durchfeuchtung der porösen, imprägnirten Bodenschichten vorausgegangen ist, und die Luft daraus eine längere Zeit hindurch und bis zu einer beträchtlicheren Höhe als gewöhnlich, durch Grundwasser verdrängt war, so begünstigt ein rasches Sinken desselben die epidemische Entwickelung der Cholera an solchen Orten. — Je imprägnirter eine Schicht mit organischen, verwesenden Substanzen ist, desto gefahrbringender wird das Zurückgehen des Grundwassers, falls der Keim der Cholera zu dieser Zeit eingeschleppt wird. — Das Zurückgehen des Grundwassers, das Austrocknen andauernd und stark durchfeuchteter Bodenschichten scheint das wichtigste Moment für die Zeit des Auftretens der Choleraepidemien zu sein. — In Flussthälern, in Mulden, dicht am Fusse von Abhängen (an Steilrändern) wirken diese drei Faktoren häufig im ungünstigen Sinne zusammen, diese Terrainform begünstigt namentlich die Bildung, Ansammlung, Stauung und Schwankung von Grundwasser. — Oertlichkeiten auf der Schneide zwischen zwei Mulden, Gegenden zwischen zwei Wasserscheiden zeigen durch-

schnittlich eine viel geringere Empfänglichkeit. Es wird für den Arzt leicht sein, den hohen Nutzen, welchen die Bekanntschaft mit diesen Thatsachen für die Gesundheitspflege, Verhütung von Erkrankungen, Wahl des Platzes für Krankenhäuser und Wohnhäuser etc. ihm gewähren, im speciellen Falle auch wirklich daraus zu ziehen. Ueber Grundluft bei Ventilation.

Chemische Methoden. — Für den Arzt kann es sehr wünschenswerth sein, den qualitativen und quantitativen Nachweis organischer Stoffe in dem Trinkwasser zu führen. Der qualitative Nachweis wird durch Zusatz einiger Tropfen Goldlösung geführt. Je grosser die Menge der organischen Stoffe im Wasser ist, desto starker ist der entstehende dunkle Niederschlag. Setzt man einige Tropfen einer rothen Lösung von übermangansaurem Kali oder Natron zu Wasser, das mit organischen Stoffen verunreinigt ist, so verliert sich die schone rothe Färbung und es entsteht endlich ein brauner Niederschlag.

Die Menge der organischen Stoffe bestimmt man im Wasser nach Woods mit einer solchen Lösung von übermangansaurem Kali. Man wiegt 1 Gramm von dem trockenen Salz ab und löst es zu einem Liter in destillirtem Wasser. Man prüft diese Lösung mit titrirter Oxalsäurelösung (0,63 Gramm in 1 Liter Wasser); 40 cc dieser Oxalsäure werden mit 300 cc Wasser, dem man 2 cc einer starken Lösung von schwefeliger Säure zugesetzt hat, auf 60° C. erhitzt und dann die Lösung des übermangansauren Kalis zugesetzt. Ist die Oxalsäurelösung richtig angefertigt, so müssen gerade 13 cc Manganlösung entfärbt werden. Um mit der so bereiteten und geprüften Lösung die organischen Bestandtheile in Wasser zu bestimmen, misst man von letzterem 1 Liter ab, setzt 2 cc starker schwefeliger Säure zu, erhitzt auf 60° C. und tropft unter fortwährender Bewegung der Flüssigkeit (Schütteln des Glaskolbens oder Rühren in der Porcellanschale) die Manganlösung zu, bis eben die erste Spur einer rothen Färbung auftritt. Verschwindet diese Färbung nach 1/2 Stunde wieder, so setzt man noch ein wenig Manganlösung zu, bis die Färbung 1/2 Stunde unverändert bleibt. Von der verbrauchten Menge sind 0,24 cc abzuziehen, weil so viel zur bemerkbaren Färbung von 1 Liter Wasser erforderlich ist. 1 cc der Manganlösung wird durch 5 Milligramm organischer Substanz zerstört, danach die Berechnung. — Meist benutzt man als Maass der Verunreinigung den durch Verdunsten von 100 cc Wasser in einer Porcellanschale im Wasserbade erhaltenen und gewogenen Gesammtrückstand.

Die Milch.

Fig. 57.



Durchschnitt durch die Endbläschen der Drüse einer Amme, mit Blutgefässen.

Wir haben die Betrachtung des Wassers als des unentbehrlichsten Nahrungsmittels für die Erhaltung der Organismen vorangestellt. Wir schliessen daran die der Milch an, des Nahrungsmittels, auf dessen alleinigen Genuss die Natur den Menschen in seiner ersten Lebensperiode angewiesen hat, die also als natürlicher Typus eines vollkommenen Nahrungsmittels für die erste Lebensperiode betrachtet werden muss.

Die Milch ist das Sekret der Milchdrüsen, zweier zusammengesetzter, traubiger Drüsen, welche im Wesentlichen mit den übrigen traubenförmigen Drüsen: Pankreas und Speicheldrüsen etc. übereinstimmen (Fig. 57). Nur beim Weibe nach vollendetem Puerperium ist ihr Gewebe vollständig ausgereift und functionstüchtig, und besitzt in diesem Zustand kolbig gestaltete Drüsenbläschen, welche an den

Enden eines dendritisch ramificirten Gangwerks angebracht sind (Langer). Die 15—20 Ausführungsgänge münden als feine Röhrchen, 2,2—4,3 mm weit, einzeln an der Oberfläche der Brustwarze. Man bezeichnet jeden einzelnen als Milchgang, Ductus lactiferus, der im Warzenhofe je zu einem Säckchen, dem Milchsäckchen, anschwillt, welches mit einem verschmalerten Gange an der Spitze der Brustwarze ausmündet. Die Epithelien dieser Ausführungsgänge bestehen aus vieleckigen, rundlichen Zellen, die in den weitesten eine walzenförmige Gestalt annehmen. Kölliker findet an den weiteren Canälen eine weisse, feste, bindegewebige Haut, an der er keine Muskelfasern, nur elastische Elemente, nachweisen konnte. Nach Langer besteht die Wand der Drüsenbläschen aus retikulärem Bindegewebe. Die zelligen, mit Kernen und Fortsätzen versehenen Bestandtheile desselben bilden ein Körbchen, welches den Acinus abgrenzt und nach Entfernung des Drüsenepithels sichtbar wird. In den Drüsenbläschen findet Langer dieses Epithel einschichtig, im Grunde der Bläschen aus kleinen polyedrischen Zellen bestehend, die gegen den Ausführungsgang zu höher werden und dessen Lumen mitunter sehr verengern. Die Endbläschen vereinigen sich zu kleinen Läppchen, die aber nie (Langer) zu grösseren, den einzelnen Ausführungsgängen entsprechenden Lappen sich vereinigen. Das Drüsenstroma stellt einen ungetheilten bindegewebigen Körper dar, der sich peripherisch in lockeres Bindegewebe auflöst. Der Drüsenkern steht nur an der Brustwarze mit der Haut in unmittelbarer Verbindung, sonst schiebt sich reichliches Fettgewebe dazwischen, das am Warzenhofe durch eine mächtige Lage glatter Muskelfasern ersetzt ist.

Die Brustwarze besitzt selbst eine grosse Menge glatter Muskelfasern, die ihr die erektile Steifigkeit bei Hautreizen auf die hier sehr zarte Oberhaut ertheilen. Letztere zeigt sich in ihren tieferen Lagen gefärbt. Im Warzenhofe befinden sich grössere Schweiss- und Talgdrüsen, welche oft sichtbare Höckerchen bilden.

Die Nerven der Haut über den Milchdrüsen und der Drüse selbst stammen beim Menschen von den Supraclavicularnerven und von den Hautästen des zweiten bis vierten oder sechsten Intercostalnerven (über die Innervation des Ziegeneuters cf. unten).

Die Parenchymzweige der Blutgefässe schliessen sich nicht immer genau an die Gänge an und vertheilen sich meist unabhängig von denselben. Die Drüsenläppchen sind von einem reichen Capillarnetz umsponnen, in dessen rundlichen oder eckigen Maschen die Drüsenbläschen eingeschoben sind. Das Capillarnetz jedes Drüsenbläschens stellt ein in sich geschlossenes Ganze dar, das nur durch kleine Arterien und Venen mit dem der benachbarten Läppchen communicirt (Langer). Die Venen des Warzenhofs anastomosiren ringförmig (Circulus Halleri).

Die vollkommene Thätigkeit der Milchdrüse, die Absonderung reifer Milch, ist bei dem menschlichen Weibe auf die Zeit nach der Geburt, vom 3. und 4. Tage an, beschränkt. Nur dann ist wie gesagt die Drüse in einem Stadium vollkommener Entwickelung, welche auch mit einer Grössenzunahme der Hülfsorgane, auch der Brustwarze verknüpft ist. Bei dem Manne ist die Drüse im späteren Lebensalter meist ganz verkümmert, doch kann sie in seltenen Fällen auch die Fähigkeit der Milchabsonderung erlangen, wie von aner-

kannten Forschern A. von Humboldt u. A. berichtet wird. In ihrer Ruhezeit enthält die weibliche Brustdrüse nur einen zähen Schleim, welchem einzelne abgestossene Epithelzellen beigemischt sind. Während der Schwangerschaft beginnen die Epithelzellen der Drüsenbläschen sich zu vergrössern, sammeln immer mehr und mehr Fetttröpfchen in sich an, die endlich die Endbläschen der Drüse vollkommen ausfüllen. Dabei bilden sich neue Epithelzellen, so dass schliesslich die älteren mit Fett erfüllten Zellen morphologisch verändert losgestossen und in die Milchgänge hereingetrieben werden, aus denen sie sich in der zweiten Hälfte der Schwangerschaft gemischt mit einer gelblichen Flüssigkeit als Kolostrum hervorpressen lassen. Das Kolostrum ist noch keine wahre Milch. Es zeigt unter dem Mikroskope die veränderten fetthaltigen Epithelzellen, Kolostrumkörperchen, auch Fetttröpfchen aus dem Zellinhalt frei in der Flüssigkeit umherschwimmend (Fig. 58). Nach den Angaben von Stricker bestehen die Kolostrumkörperchen aus hüllenlosem, contractilem Protoplasma, das die eingeschlossenen Fetttröpfchen aktiv hervorpresst. Mit dem Saugen des Kindes an der Brust nimmt die Thätigkeit in den Milchdrüsenbläschen mit einem Male sehr zu. Nach den ersten drei bis vier Tagen des Stillens hat die Drüsenabscheidung den Charakter der reifen Milch angenommen. Die wahrscheinlich fort und fort in den Drüsenbläschen entstehenden fetthaltigen Zellen zerfallen wohl schon in den Milchgängen, so dass die Fettkügelchen frei werden und in der Milchflüssigkeit umherschwimmen, hier und da hängen einige noch fester zusammen, so dass sie an das Bild der Kolostrumkörperchen erinnern. Die Milchbildung kann im Allgemeinen betrachtet werden als eine fettige Metamorphose der Epithelzellen der Milchdrüse. Sie schliesst sich der Bildungsweise des Hauttalges in den Talgdrüsen an, an welche auch die Entwickelungsgeschichte die Drüse anreiht.

Fig. 58.



Formelemente der Milch, 350 mal vergr. a Milchkügelchen, b Kolostrumkörper, c d Zellen mit Fettkügelchen aus dem Kolostrum, die eine (d) mit einem Kerne.

Man könnte nach Stricker für die Bildung der fertigen Milch ein Auspressen der Fetttröpfchen und Milchflüssigkeit aus dem Protoplasma der Drüsenzellen annehmen, die nun nicht mehr losgestossen werden. Es würde das mit der S. 94 gegebenen Darstellung der Entstehungsweise der Drüsensekrete zusammenstimmen. Dafür scheint auch zu sprechen, dass nach Langer die Drüsenbläschen von Wöchnerinnen, die bald nach der Entbindung gestorben sind, nur sparsam Milchkügelchen enthalten, welche mitten zwischen den dicht zusammengedrängten Epithelzellen eingelagert sind (cf. Fig. 57). Bei säugenden Frauen finden sich auch in den noch festhaftenden Epithelzellen Fettbläschen. Langer beschreibt festsitzende (eingereihte) Epithelzellen mit mehreren kleinen Fetttröpfchen, andere mit einem Kern, der sich halbmondförmig um einen grösseren Fetttropfen herumgelagert hat. Enthielten diese festsitzenden Zellen grössere Fettbläschen, so lagen diese gegen das Lumen des Drüsenbläschens, der Kern der Zelle dagegen gegen die Wand zugekehrt. Die Zelle kann so vielleicht die Fetteinlage aktiv auspressen, ohne dass sie dadurch zu Grunde gehen müsste.

Mit Entwickelung der Milchsekretion tritt auch bei sonst ganz gesunden

Frauen eine grössere oder geringere Temperaturerhöhung: Milchfieber ein, die man von der Stauung der Milch in den Milchcanälen ableiten will (J. Schramm). Bei Entleerung der reichlich angesammelten Milch tritt ein Absinken der Temperatur ein. Mit dem Abgewöhnen des Säuglings kehrt meist wieder Anschwellung der Drüse und damit Temperaturerhöhung zurück.

Die Bildung der Milch wird durch den mechanischen Reiz, den das Saugen des Kindes ausübt, gesteigert. Es scheint sonach dieser Vorgang nicht von der Einwirkung des Nervensystems unabhängig zu sein. Doch ist nach den Experimentalergebnissen Eckhard's die Milchsekretion von dem Einflusse wenigstens der cerebrospinalen Nerven unbeeinflusst. Nach deren Durchschneidung bei Ziegen geht die Sekretion ungeschwächt fort. Nach demselben Forscher gehen auch mit den Gefässen Nerven zur Drüse, die wahrscheinlich den sympathischen zuzurechnen sind. Auch Langer fand im Drüsenparenchym Nerven auf, die er bis an die Grenze der Drüsenbläschen verfolgte. Nach Röhrig wird das Euter der Ziege innervirt und dessen Absonderung beeinflusst von zwei Aesten des N. spermaticus externus. Alles was den arteriellen Blutdruck im Allgemeinen steigert, steigert bei Ziegen auch die Milchabsonderung, während letztere vermindert wird durch alle Einflüsse, welche den arteriellen Blutdruck im Allgemeinen herabsetzen. Röhrig beobachtete auch durch medicamentöse Einwirkungen Beeinflussung der Milchabsonderung: Jaborandi steigert, Chloralhydrat vermindert sie am stärksten.

Die Entleerung der Milch aus der Drüse geschieht nur zum geringsten Theil bei reichlicher Milchbildung durch den Druck des nachrückenden Sekretes selbst, gewöhnlich geschieht sie durch das Saugen des Säuglings, durch Verminderung des Luftdrucks an den Mündungen der Milchgänge, der auch bei künstlicher Entleerung verwendet wird (Milchpumpe). Die beste Milchpumpe sind die Lippen des Menschen. Vielleicht tragen die reichlichen glatten Muskeln der Drüse mit zu der Ausscheidung bei. Zum Theil dienen diese zur Erektion der Brustwarze, auf die nach Eckhard die oben genannten cerebrospinalen Nerven von Einfluss sind; die Erektionsfähigkeit erlischt mit dem Durchschneiden derselben.

Die während der Säugezeit in 24 Stunden abgesonderte Milchmenge schwankt in ihrer Quantität bei dem menschlichen Weibe sehr bedeutend. Als Durchschnittszahlen kann man etwa 500—1500 cc als die Sekretionsgrösse beider Brüste in einem Tage annehmen.

Die reife Milch besteht aus einer Flüssigkeit, dem Milchplasma, und unzähligen in diesem schwimmenden, runden, das Licht stark brechenden Milchkügelchen. Diese charakterisiren sich schon durch ihr Aussehen als aus Fett bestehend, und geben der Milch ihre weisse Farbe und Undurchsichtigkeit. Man nahm früher an (Schwalbe, Brücke, Hoppe-Seyler u. A.), dass sie mit einer zarten Eiweisshülle umgeben oder ein Gemisch von Eiweissstoff und Fetten seien, eine Ansicht, welche gegenwärtig bestritten wird (Soxhlet u. v. A.).

Die Milchflüssigkeit ist eine Lösung einer geringen Menge verschiedener anorganischer Salze mit einer grösseren Menge Milchzucker, Caseïn und geringen Mengen von Albumin. Nach Tolmatscheff enthält die Milch auch Lecithin. Unter den Extraktivstoffen fand Lefort Harnstoff, Kommaille

Kreatin resp. Kreatinin. Ausserdem enthält die Milch Gase: Kohlensäure, Sauerstoff, Stickstoff. Die anorganischen Salze bestehen vorzugsweise aus phosphorsauren Verbindungen von Kali und Kalk. Die Milch reagirt frisch alkalisch oder neutral, selten schwach sauer. Vogel fand, dass frische Milch neutrale Lacmuslösung in der Regel schwach röthlich färbt, die Farbe geht aber beim Stehen an der Luft wieder in Blau über. Es scheint das auf dem Gehalt der Milch an Kohlensäure, welche beim Stehen an der Luft entweicht, zu beruhen. Die Zusammensetzung der Milch ist bei verschiedenen Säugethieren zwar quantitativ, aber nicht wesentlich qualitativ verschieden, doch mischen sich der Milch die specifischen, riechenden Stoffe der thierischen Hautabsonderung bei, welche sehr wesentliche Unterschiede in Geruch und Geschmack verursachen. Der Geschmack der Milch ist mehr oder minder angenehm süss, was von dem grösseren oder geringeren Gehalt an Milchzucker herrührt.

Die Fette der Milch sind von der Kuhmilch genau untersucht. Heintz fand in derselben die Glyceride der Butinsäure, Stearinsäure, Palmitinsäure, Myristinsäure und Oelsäure.

Die flüchtigen Fettsäuren, welche die Analysen der Butter ergeben — nach Chevreul: Caprin-, Capryl-, Capron- und Buttersäure Essigsäure, Ameisensäure nach Wein — sind wohl nur zum geringen Theil namentlich in der Ziegenmilch als normale Beimischungen zu betrachten, meist sind sie Zersetzungsprodukte, die durch die chemische Analyse oder durch den Process des Ranzigwerdens entstanden sind. Dieser beruht auf einer Oxydation des Glycerins, welches in Acrolein C_3H_4O = Acrylaldehyd, welches auch bei der trocknen Destillation und dem Anbrennen der Fette entsteht und den dabei wahrgenommenen widrigen, stechenden Geruch erzeugt, und Ameisensäure zersetzt wird; die Fettsäuren werden ebenfalls höher zu den genannten flüchtigen Säuren oxydirt. Dieser Zersetzungsvorgang wird durch die Zersetzung der Eiweisskörper der Milch eingeleitet. Diese Ansicht glauben wir auch aufrecht halten zu dürfen, nach den Beobachtungen von Hehner, nach welchen die Menge der flüchtigen Fettsäuren in den Milchfetten eine sehr konstante ist.

Kehrer fand in den Milchdrüsenzellen säugender Kaninchen öfters zwei Kerne, was er auf Zellenvermehrung deutet.

Die Milch entsteht in oder aus den Drüsenzellen der Milchdrüse in der oben angedeuteten Weise. Sie ist nicht sowohl ein Transsudat als eine directe Zellenproduktion, was für das Fett mikroskopisch nachgewiesen erscheint. Der Reichthum an Kalisalzen und Phosphorsäure, der die Milch von allen anderen normalen Sekreten unterscheidet, zeigt, dass sie als ein »verflüssigtes Organ« aufgefasst werden muss. Ueber den Ursprung des Eiweisses und Caseins aus dem Eiweiss des Zellenprotoplasma kann kein Zweifel herrschen, daher stammt auch das Lecithin. Daenhardt schreibt der in der Lactationsperiode befindlichen Milchdrüse ein Casein bildendes Ferment zu, welches aus Eiweisslösungen Caseïn zu bereiten vermag (J. C. Lehmann, Kemmerich). Ueber den Ursprung des Fettes und der Kohlehydrate sind die Meinungen noch sehr getheilt. In der letzten Zeit neigt sich eine Reihe von Beobachtern der Meinung zu, dass die Fette der Milch wenigstens theilweise aus Albuminaten entstehen, dieselbe Ansicht, die auch für die Fettbildung überhaupt ausgesprochen wird. Die Kohlehydrate scheinen zum Theil mit Transsudation aus dem Blut zusammen zu hängen, da bei reichlichem Zuckergenuss der Zuckergehalt der Milch steigt; doch ist nicht zu vergessen, dass Milchzucker nur in der Milch normaler Weise gefunden wird, er sonach auch ein Produkt der Milchzelle ist. Einige in der Nahrung genossene heterogene Substanzen sollen in die Milch übergehen, z. B. Jodkalium und Bromkalium.

Die praktischen Versuche der Landwirthe haben es mit aller Sicherheit erwiesen, dass

die Art und Menge der Nahrung Einfluss auf die Menge der Milchabsonderung habe, doch ist dieser Einfluss, solange nur die Thiere keinen Mangel leiden, nicht so gross, als man denken konnte. Schon Becquerel behauptete, dass die Menge der Nahrung mehr Einfluss habe als die Qualität. Durch alle bisherigen Beobachtungen ist erwiesen, dass, je mehr Flussigkeit die Milch-Thiere zu sich nehmen, der Milchertrag um so reicher werde, und zwar ohne dass die Qualitat der Milch sich einem etwa vermutheten Wässerigwerden entsprechend verschlechtert, verdünnt zeigte. Es wirkt jede Wasseraufnahme in diesem Sinn, mag sie nun durch wasserreiches Futter: Grünfutter, Schlempe etc. erreicht werden, oder dadurch, dass man den Thieren durch Salz in der Nahrung den Durst zu Wasser steigert (Dancel). Kuhe, welche bei trockener Stallfütterung 10—14 Liter Milch gaben, lieferten dann 14—16 Liter ohne Verschlechterung. Es ist diese Thatsache allen Milchviehbesitzern geläufig. Dadurch gewinnt der reichliche Flüssigkeitsgenuss (Bier) bei stillenden Müttern, Ammen eine hohe Bedeutug auch in ärztlicher, hygieinischer Beziehung.

Nach den Untersuchungen von Thomson und den unter Pflüger's Leitung von Ssubotin und Kemmerich gemachten Experimentalbeobachtungen scheint jedoch auch die Qualität der Nahrung nicht ohne Einfluss auf die Milchproduktion. Merkwürdiger Weise kann durch reichlichen Fettgenuss die Milchsekretion (bei Hunden) ganz oder fast ganz unterdrückt werden. Bei Fleischnahrung (N-haltiger Kost) dagegen nimmt im Vergleiche zu vegetabilischer Nahrung die Menge der Milch bedeutend zu und der Gehalt an festen Bestandtheilen, namentlich an Fetten, weniger an Casein, ist erhöht. Der Albumingehalt der Milch, der bei der Hündin nicht unbedeutend ist, bleibt dabei ziemlich constant, der Zuckergehalt sinkt etwas.

Nach den älteren Angaben G. Kühn's haben sehr verschiedene Futterarten bei Kühen nur einen Einfluss auf die Milchmenge und deren Gesammtconcentration, ohne deutliche constante relative Vermehrung oder Verminderung einzelner fester Bestandtheile. Neuerdings hat er jedoch in den Palmkuchen, welche nach Lehmann sehr reich an Fettsäuren sind, ein Futter zur Buttervermehrung aufgefunden.

Andererseits hat man, wie gesagt, aus den Versuchen über die Bildung der Fette in der Milch geschlossen, dass letztere aus Eiweissstoffen hervor gehen (Voit, Fleischer, Stohmann u. A.) Stohmann fand bei verhältnissmässig geringem Stickstoffgehalt des Futters bei Ziegen bei geringer Vermehrung oder Verminderung des Futtereiweisses ein entsprechendes Ansteigen oder Abfallen des Fettgehaltes der Milch, Schwankungen, die sich bei einem an sich eiweissreichen Futter nicht zeigen. Lehmann zeigte an Kühen, dass in der Zusammensetzung der Milch individuelle, d. h. Racenunterschiede bei genau gleicher Fütterung und Pflege vorkommen, so dass die einen absolut mehr Butter (Shorthorns), die anderen (Holländer) mehr Käsestoff, Milchzucker, Salze liefern. Aehnliches behauptet man, wie es scheint grossen Theils mit Unrecht, von den Menschenracen. Alter und »Constitution« hat bei Frauen keinen constanten Einfluss auf die Zusammensetzung der Milch. Bei der Menstruation soll die Milch reicher an festen Stoffen werden. Hoppe-Seyler fand, dass sich in stehender Milch auf Kosten der Albuminate das Fett vermehrte, so dass also auch hier noch ein Uebergang der Albuminstoffe in Fett stattfände. Ssubotin hat die Fettvermehrung in stehender Milch ebenfalls constatirt, die in 36 Stunden fast 1% der Gesammtfettmenge betragen kann. Nach Kemmerich geht die Fettbildung aus Albuminaten unter der Mitwirkung von Pilzen nur in frischer Milch vor sich. Gekochte Milch verliert dagegen durch Oxydationsprocesse (Hoppe) beständig Fett. Ueber Fettbildung im Organismus im Zusammenhang mit der Ernährung folgt weiter unten das Nähere. In der stehenden frischen Milch bildet sich das Albumin in Caseïn um, ebenso durch Kochen (Kemmerich).

Die Milchmenge wird durch körperliche Bewegung und andere Veränderungen in den Lebensbedingungen und Sinneseindrücken (z. B. Stallwechsel) vorübergehend oder dauernd beträchtlich vermindert.

Nach Playfair ist der Fettgehalt der Milch bei reichlicher Stallfütterung und Ruhe

grosser als bei starker Bewegung auf der Weide; das Vieh, welches auf armer Weide viel umherziehen muss, um sein Futter zu finden, liefert käsestoffreichere Milch.

Die erste Milch, die man im Euter findet, bevor das Kalb gesaugt hat, das Kolostrum, ist etwa 5 mal reicher an Käsestoff als die nachfolgende.

Die bei demselben Melken später aus dem Euter gezogene Milch ist nicht unbedeutend an Fettgehalt reicher als die ersten Portionen. Nach Schübler, der 5 Portionen gesondert untersuchte, stieg der Rahmgehalt von 5 : 8 : 11,5 : 13,5 : 17,5 %. Aehnlich ist es bei dem saugenden Weibe. Die Morgenmilch enthält weit weniger Fett als die Abendmilch. Das Verhältniss ist etwa wie 0,7 : 1,7. Bei Kühen ist die Sommermilch butterreicher.

Das Blauwerden der Milch rührt, wie man bisher annahm (Fuchs), von Vibrio cyanogenus, die falsche gelbe Farbe derselben von einem ähnlichen organisirten Wesen her. Nach den Untersuchungen von Erdmann beruht die blaue Farbe auf dem Auftreten von Anilinblau, entstanden aus dem Käsestoff der Milch durch Vermittelung von Vibrionen. Bailleul sucht die Ursache in einem Byssus. Nach H. Hoffmann und Fürstenberg ist die Ursache derselbe Pilz: Penicillium glaucum, welcher in gesunder Milch nur die saure Gährung hervorruft. Den besonderen Einfluss suchen sie sonach in der krankhaften (?) Veränderung der Milch selbst. Der Genuss blauer Milch ist für Kinder gesundheitsschädlich mit den Symptomen der Diarrhöen, Abmagerung etc. (F. Mosler).

Den Untersuchungen von Clemm, Simon, Haidlen, A. Schukowsky u. A. zu Folge enthält die Milch gesunder Frauen im Durchschnitt in 1000 Theilen Milch:

Wasser	885,66
Casein und Albumin	28,11
Butter	35,64
Milchzucker	48,14
Salze und Extractivstoffe	2,42

Mit der Dauer des Säugens verändert sich nach Vernois und Becquerel die Zusammensetzung der reifen Frauenmilch. Der Caseïn- und Buttergehalt steigt bis zum 2. Monat nach der Geburt, bleibt dann bis zum 10. Monat constant und beginnt von da an zu sinken; der Buttergehalt sinkt dagegen schon im 5.—6. Monat. Umgekehrt sinkt der Zuckergehalt bis zum 1. Monat, bleibt von da bis zum 8.—10. Monat constant und sinkt dann. Die anorganischen Milchsalze vermehren sich in den ersten 5 Monaten und sinken dann in ihrer Menge ab. Stohmann sah bei Ziegen den Buttergehalt mit der Zeit der Lactation (5 Monate) im Allgemeinen sinken, den Caseïngehalt namentlich in der späteren Zeit bedeutend ansteigen.

Die Milch der Säugethiere, welche zur Milchgewinnung verwendet werden, ist quantitativ von verschiedener Zusammensetzung als die der Frauen. Sie enthalten im Ganzen im Durchschnitt mehr feste Bestandtheile, unter denen der Zuckergehalt etwas zurücktritt, während sich ein höherer Gehalt an Butter und Albuminaten zeigt. Die Milch der Steppenpferde- und Eselstuten ist dagegen der Frauenmilch sehr analog gemischt, sie enthalten im Gegensatze zu den anderen Milchsorten mehr Milchzucker.

In 1000 Theilen Milch sind im Durchschnitt

	Albuminate:	Milchzucker:
in der Frauenmilch	28,11	48,14
Kuhmilch	54,04	40,37
Ziegenmilch	46,59	40,04
Schafsmilch	53,42	40,98
Eselsmilch	20,18	50,00
Stutenmilch	16,41	80,00?

Unter den anorganischen Bestandtheilen der Milch überwiegen die Kali- die Natronverbindungen bedeutend, überdies findet sich unter ihnen ein ziemlich grosser Antheil an phosphorsaurem Kalke. Nach Wildenstein ist die Asche der Frauenmilch quantitativ folgendermassen zusammengesetzt in 100 Theilen:

Chlornatrium	10,73
Chlorkalium	26,33
Kali	21,44
Kalk	18,78
Bittererde	0,87
Phosphorsäure	19,00
phosphorsaures Eisenoxyd	0,21
Schwefelsäure	2,64
Kieselerde	Spur

Schweinemilch (CAMERON) 6 Tage nach dem Wurf sp. G. 1,041. 81,8% Wasser, 6,0 Fett, 5,3 Casein und Eiweiss, 6,07 Milchzucker, 0,83 Salze. Die Milch des Hippopotamus (GANNING) enthält 90,43% Wasser, 4,51 Fett, 4,4 Milchzucker und Eiweisskörper, 0,11 Salze.

HUSSON hat Milch rinderpestkranker Kühe untersucht. Er fand in 1000 Theilen: Butter 12,6 — 14,9; Zucker 16,4 — 31,4; Casein 50,2; Albumin 20,6; Salze 18,5.

Die Kuhmilch zeigt eine entsprechend ihrem höheren Eiweissgehalt grössere Phosphorsäuremenge bis 29% der Gesammtasche (WEBER). Im Uebrigen ergeben die vorhandenen Analysen der Milchaschen keine bedeutenden Differenzen.

Die Milch enthält in ihrer Flüssigkeit stets eine bestimmte Menge der im Organismus befindlichen Gase gelöst, wie sich solche in allen Parenchymsäften vorfinden. F. HOPPE-SEYLER untersuchte dieselben in der Ziegenmilch; er fand, dass sie der Hauptmenge nach aus Kohlensäure bestehen. In einer gelungenen Analyse fand er

in 100 Volum Gas:

Kohlensäure	55,15	Vol.
Stickstoff	40,56	-
Sauerstoff	4,29	-

PFLÜGER fand in einem Versuche:

Kohlensäure, ausgepumpt	0,09	Proc.
- durch Phosphorsäure ausgetrieben	7,40	-
Stickstoff	0,20	-
Sauerstoff	0,80	-

Hygieinische Bemerkungen. — Man hat geglaubt, die Zusammensetzung der Milch als den Grundtypus aller Nahrungsmittel aufstellen zu müssen. Man glaubte, dass ihr Verhältniss der einzelnen Nahrungsstoffe: Albuminate, Fette, Zucker, Salze zu einander die Idealmischung sei, in welcher sie am besten zur Ernährung des Organismus dienen könnten. Wir werden in späteren Betrachtungen sehen, dass davon keine Rede sein kann, da es überhaupt unmöglich ist, dass eine Nahrungsmittelmischung für alle Körperzustände allein zuträglich sei. Es wird sich ergeben, dass jedes Alter, jede Beschäftigung, jeder Körperzustand seine eigene Nahrung verlangt. Doch darf man über diese allgemeine Wahrheit nicht übersehen, dass die Milch der Mutter unstreitig für den kindlichen Körperzustand die beste Nahrungsmischung darstellt, welche kaum durch eine andere künstliche vollkommen ersetzt werden kann.

Es ist hier die Thatsache zu beachten, dass bei dieser Normalkindernahrung Fette und Kohlehydrate neben dem Eiweissstoffe sehr reichlich vertreten sind, etwa 10 Theile Albuminate auf 10 Theile Fett und 20 Theile Zucker. Wir werden später finden, dass eine solche Nahrungsmischung zum Stoffansatz im Organismus sehr tauglich ist, vorzüglich wenn von dem letzteren weniger Muskelarbeit gefordert wird. Sehr auffallend ist in der Zusammensetzung der Milchasche der hohe Gehalt an phosphorsaurem Kalke, der zum Aufbau des nach der Geburt rasch erstarkenden Knochengerüstes nothwendig ist. Dieser Stoff ist an das Casein gebunden. Das Casein selbst ist eine Alkaliverbindung, woher der hohe Gehalt der Milch an

Alkalien rührt. Sie machen das Casein, welches sich im Wasser nur sehr wenig löst, darin leicht löslich.

Wenn wir von der Milch als dem Normalgemische der Nahrungsstoffe eines kindlichen Organismus gesprochen haben, so bezog sich dieses für den Menschen nur auf die Frauenmilch. Wo diese für die Ernährung des Kindes mangelt, kann dafür die Milch der Hausthiere nicht ohne Weiteres mit dem gleich günstigen Erfolge angewendet werden. Die Milch von Kühen und Ziegen unterscheidet sich quantitativ nicht unbedeutend von der Frauenmilch, namentlich ist sie weit fettreicher und das Casein der Kuhmilch ist weit weniger löslich durch die Verdauungsflüssigkeit des Magens als das der Frauenmilch. Diese Unterschiede erklären die Erfahrung, dass Kuhmilch von Säuglingen oft nicht vertragen wird. Um sie der Frauenmilch ähnlicher zu machen, muss der gewöhnlich als Ersatz der Muttermilch dienenden Kuhmilch, da sie casein- und butterreicher ist, Wasser zugesetzt werden mit etwas Zucker (Milchzucker), um den geringeren Gehalt an letzterem zu beseitigen. Dasselbe ist für die Ziegenmilch, die der Kuhmilch nahe steht, nothwendig.

Freiwillige Milchveränderungen. — Die Milch nimmt bei dem Stehen in der Luft begierig Sauerstoff in sich auf und scheidet dafür Kohlensäure aus (Hoppe). Vorzüglich leicht und rasch bei etwas hoher Temperatur wird die Milch, welche frisch meist alkalisch reagirt, sauer. Es bildet sich aus dem Milchzucker durch Umlagerung seiner Elemente *Milchsäure*, wozu nach Hoppe keine Sauerstoffaufnahme der Milch erforderlich ist. In Folge dieses Auftretens einer freien Säure in der Milch finden nun Zersetzungen in ihren Bestandtheilen statt. Vor Allem wird die Alkaliverbindung des Caseins getrennt, das Casein scheidet sich als eine dicke Gallerte (*Käse*) ab, welche nach einigem Stehen eine helle, durchsichtige, grünlich gefärbte Flüssigkeit, *Molken*, *saure Molken* auspresst. Die Milchkügelchen werden von dem geronnenen Casein eingeschlossen. Die Milch gerinnt durch Zusatz jeder Säure, Essigsäure und Weinsäure lösen aber im Ueberschuss zugesetzt das gefällte Casein. Die Milchgerinnung durch *Lab* (die getrocknete etc. Schleimhaut des Labmagens vom Kalb) erfolgt bei *alkalischer* Reaction. Heintz und A. Schmidt nehmen ein Ferment in der Labmagenschleimhaut an, welches das Casein in wenigstens 2 verschiedene Eiweisskörper spalten soll: *Käse*, der herausfällt, und das gelöst bleibende *Molkeneiweiss* (Hammerstein). Der durch Lab gefällte *Käse* soll von dem freiwillig durch Milchsäure etc. abgeschiedenen Casein verschieden sein, namentlich Lösungsmitteln und dem Magensaft gegenüber. Die durch Lab geronnene Milch liefert *süsse Molken*. Wir wissen, dass organische Zersetzung bei einer Temperatur von 100° C. stillstehen und für längere oder kürzere Zeit unterbrochen werden kann. So erklärt sich der Erfolg des *Absiedens der Milch*, welches diese auch im Sommer für längere Zeit vor dem Sauerwerden schützen kann, wenn man das Erhitzen wenigstens einmal in 24 Stunden wiederholt. Auch eine niedere Temperatur wirkt in demselben Sinne. An Stelle des früher angewendeten hermetischen Luftabschlusses von gekochter Milch in Blechbüchsen, wodurch man für Seereisen die Milch zu konserviren suchte, hat man nun ein Eindicken der frischen Milch durch das Vacuum und Zusatz von Zucker als das beste Mittel zur Erhaltung der frischen Milch kennen gelernt. Die »*kondensirte Schweizermilch*« sowie die Produkte der Anglo-Swiss Condensed Milk Co. in Chamm (E. Wein) entsprechen allen Anforderungen und werden für Kinderernährung, Truppen etc. vielfach mit bestem Erfolg verwendet. Man löst für kleine Kinder 1 Kaffeelöffel in 1 Schoppen kalten Wassers und kocht dann die Lösung. Man hat beobachtet, dass die Milch in *Zinkgefässen* längere Zeit, ohne sauer zu werden, gehalten werden kann. Es beruht dieses auf einer chemischen Verbindung von Milchsäure mit dem Zink. Es erklären sich aus ihrem Vorhandensein in der Milch die Vergiftungssymptome, welche manchmal so heftig nach Milchgenuss auftreten oder nach Genuss von Speisen, zu deren Bereitung Milch gedient, welche längere Zeit in Zinkgefässen gestanden hatte, wie sie von Zuckerbäckern hier und da benutzt werden. Die Gerinnung der Milch wird auch durch einen sehr geringen Zusatz von *doppelt kohlensaurem Natron verzögert*, wozu schon $^{1}/_{1000}$ genügt. Dieser

Zusatz ist der Gesundheit vollkommen unschädlich und verändert den Geschmack der Milch nicht merklich. $^1/_{5000}$ Salicylsäure hält trotz Sommertemperatur die Milch 8 Tage lang frisch. Sommerwärme beschleunigt die Milchgerinnung.

Milchverfälschung, giftige Milch, Milchanalysen. — Die Milch wird in grossen Städten, wo ihr Preis sehr hoch ist, Gegenstand vielfältiger Verfälschungen. Die gewohnlichste ist Wasserzusatz, manchmal bis zur Hälfte. In Paris war schon vor der Belagerung das, was als gewöhnliche Milch verkauft wurde, abgerahmte Milch mit einem Zusatz von $^1/_4$, $^1/_3$ bis zur Hälfte Wasser. Rahm ist dort die Milch in natürlichem Zustande. Weitere Zusätze zu verdünnter Milch werden dazu gemacht, um sie wieder dickflüssiger zu machen. Mehl, Stärke, Eigelb, Hanfsamenemulsion sind zu leicht an ihrem Verhalten zu erkennen, als dass sie in grösserem Maasse in Anwendung gebracht werden könnten. Dagegen sollen zu diesem Zwecke Reiswasser, Kleien und Gummiwasser vielfältiger verwendet werden. Noch eine andere, originelle Fälschung erwähnt Knapp; sie besteht in Beimischung von feinzerriebenem, von seinen Häuten befreitem Hammelgehirn, wodurch der Milch scheinbar ein hoher Rahmgehalt ertheilt wird. Das Mikroskop gibt über diese Verfälschungen sogleich Aufschluss, indem es die Stärkekörnchen, die zerquetschten Nervenfasern etc. nachweist.

Die städtischen Milchkuranstalten (V. Cnyrim) unter Leitung von Aerzten bürgen gegen Verfälschungen.

Heftige Gemüthsaffecte sollen bei Frauen einen Einfluss auf die Milchabsonderung haben, so dass die Milch dem Säugling schädlich, ja tödtlich werden könne.

Nach M. W. Taylor und E. Ballard kann das Typhuscontagium durch Milch verschleppt werden. Die Milch stand bei diesen Beobachtungen in einem Typhuskrankenzimmer; das Weib, welches Typhuskranke pflegte, hatte die Kühe gemolken. In 7 Familien, in einem zweiten Fall in 67 Häusern, welche zur Kundschaft der betreffenden Milchwirthschaft gehörten, brach Typhus aus. Auch für das Scharlachcontagium behaupten sie das Gleiche.

Die Milch kranker Kühe ist gesundheitsgefährlich. A. C. Gerlach hat gezeigt, dass durch Fütterung mit Milch perlsüchtiger Kühe diese Krankheit auf verschiedene Thiere, also auch wohl auf den Menschen übertragen werden kann. Die Perlsucht ist dem Wesen nach mit Tuberkulose identisch. Für die Kinderernährung ist das um so bedenklicher, da in den städtischen Milchwirthschaften oft 50% der Kühe perlsüchtig sind; das Abkochen vermindert die Gefahr.

Zur Erkennung des Wasserzusatzes dienen die Milchproben. Zur Bestimmung des Rahmgehalts dient das Cremometer von Dinoncourt und Quevenne: eine 14 cm hohe Rohre mit Fuss und Gradeintheilung, in welcher man die frische Milch 24 Stunden kühl stehen lässt. Gute Milch soll 10 Volumprocente Rahm aufwerfen. Die von Donné angegebene optische Methode nimmt die Menge des in der Milch enthaltenen Fettes zum Anhaltspunkt; er bestimmte, welche Dicke die Milchschicht haben müsse, bei der eben das Licht einer hinter ihr befindlichen Kerzenflamme nicht wahrgenommen wird. Diejenige Milchsorte enthält am wenigsten von dem undurchsichtigen Fett, von welcher man die dickste Schicht einschalten muss. Alf. Vogel hat diese Methode dahin abgeändert, dass er bestimmte, wie viel er Milch zu 100cc Wasser zusetzen musste, um eine Flüssigkeitsschicht von 0,5 cm Dicke (in einem Glaskästchen) eben undurchsichtig zu machen. Nach Hoppe-Seyler gewinnt die Bestimmung an Sicherheit durch das umgekehrte Verfahren. Er benutzt ein Glaskästchen, dessen Gläser 1 cm von einander abstehen. Zu 1cc Milch setzt er nun aus einer Bürette so lange Wasser zu, bis das Licht einer etwa 1 Meter entfernten Kerze eben durchschimmert, wenn er das Glaskästchen bei ziemlich finsterem Zimmer ganz dicht vors Auge hält. Nach Vogel braucht man bei 0,25 cm Schichtdicke für 100cc Wasser 3,7cc unverfälschter Milch, also für 5cc Milch 135cc Wasser, nach Hoppe muss man zu 1cc guter Kuhmilch 70—85cc Wasser setzen, um bei 1 cm Schichtdicke eine Kerzenflamme eben sichtbar werden zu lassen, zu abgeblasener bedarf es oft nur 18—20cc Wasser.

Der Werth der Milch beruht aber gleichzeitig auf ihrem Gehalt an aufgelösten Substanzen besonders Käsestoff, nicht nur auf dem an Buttertheilchen. Der Gehalt der ersten Art offen-

bart sich durch das specifische Gewicht, welches grösser ist bei reicher Milch und umgekehrt; das specifische Gewicht schwankt normal zwischen 1008—1014. Nimmt man das an der Senkwage gemessene specifische Gewicht als Maassstab der Güte, so irrt man nur zu leicht, weil die Butter die Aräometergrade hinab-, der Käsestoff aber dieselben hinaufdrückt. Es kann also eine Milch käsereich erscheinen, während sie in Wahrheit nur butterarm ist.

Künstliche Milchveränderungen zu Nahrungsmitteln. — Die Milch wird nicht nur als Ganzes zur Nahrung verwendet. Man benutzt von jeher auch einzelne von den in ihr enthaltenen Stoffen für sich. Vor Allem ist hier die Butter zu nennen, die sich als Rahm bei längerem Stehen von der Milch absetzt und durch Schlagen und Schütteln — Buttern — vollkommen abgeschieden werden kann. Die Butter enthält stets auch nach sorgfältigem Auswaschen noch Bestandtheile der Milch in sich, welche ihr frisch den eigenthümlich angenehmen Geschmack, aber auch den Fehler ertheilen, sehr leicht ranzig zu werden. Man vermeidet diese Zersetzung, welche die Butter ungeniessbar macht, entweder durch Einsalzen, wodurch der Käsestoff wie die anderen Albuminate die Fähigkeit sich zu zersetzen in hohem Grade verlieren, oder dadurch, dass man den Käsestoff ganz entfernt, was durch Schmelzen der Fette — Schmalzbereitung — geschieht, wobei der geronnene Käsestoff als eine graue schaumige Masse — Butterschaum — auf der Oberfläche sich ansammelt und abgeschöpft werden kann. Die frische Butter enthält nach meinen Bestimmungen bis zu 1,5 % Käsestoff und oft mehr als 20 % Wasser. Die von der Butterbereitung zurückbleibende Buttermilch besitzt noch eine grosse Menge der Nahrungsstoffe der Milch, fast allen Käsestoff, Zucker und vor Allem die wichtigen Nährsalze, auch das Fett fehlt nicht ganz. Sie ist also noch immerhin ein zu schätzendes Nahrungsmittel. Sie soll etwas Buttersäure enthalten.

Auch das Casein wird von der Gesammtmilch getrennt, um als Nahrungsstoff leichter aufgehoben werden zu können. Doch wird bei der Käsebereitung meist mit dem durch Lab (Kälbermagen, getrocknet oder geräuchert) gefällten Casein gleichzeitig das Fett der Milch abgeschieden. Man glaubt dabei an eine specifische fermentartige Wirkung des Lab auf das Casein (W. Heintz). Der Käse wird stark gesalzen längere Zeit aufbewahrt, bis er gereift ist, d. h. bis der Käsestoff seine Löslichkeit in Wasser wieder erhalten hat, die er durch das Lab verloren hatte. Es scheint (?), dass dieses darauf beruht, dass sich das Natron des Kochsalzes mit dem Käsestoff verbunden hat zu Natronalbuminat, dem die Eigenschaft der Löslichkeit in Wasser zukommt, so dass der Käsestoff durch das Reifen wieder in einen Zustand übergeführt wird, wie er ihn in der frischen Milch besitzt. Zieht man die Butter aus dem Käse durch Aether aus, so findet sie sich, wie sich erwarten lässt, stark ranzig. Kemmerich u. A. behaupten Fettbildung im reifenden Käse aus Albuminaten unter dem Einfluss von Pilzen. — Aus der Schweiz kommt auch der Milchzucker in den Handel, den die Hirten aus der vom Käsestoff abgeseiten Molke durch Eindampfen herauskrystallisiren lassen. Die Tartaren versetzen die Milch in alkoholische Gährung, wobei der Milchzucker zuerst in Lactose und dann in Alkohol umgewandelt wird. Das betreffende alkoholische Getränk führt den Namen »Kumiss«. — Die von der Käsebereitung zurückbleibende Molke enthält ausser den Nährsalzen und dem gesammten Milchzucker auch noch, wenn die Gerinnung vorher durch Lab erfolgte, Albumin, welches erst durch Erhitzen und Säurezusatz gerinnt. Die Wirkung der Molke als Genuss- oder Nahrungsmittel fällt ausser auf den Zucker sicher hauptsächlich auf die Milchsalze (cf. Ernährungslehre).

Zur Entwickelungsgeschichte der Milchdrüse. — Bei Neugeborenen findet sich die Drüse noch wenig entwickelt, obwohl ihre erste Anlage wahrscheinlich schon in den ersten Monat des Intrauterinlebens fällt. In der Regel sind erst die Hauptgänge entwickelt, an denen kolbige Anhänge die spätere Verzweigung andeuten. Immer fehlen die Endbläschen. Bei Neugeborenen vom 4ten — 8ten Tag kommt eine Sekretion dieser rudimentären Drüsenanlagen vor, das milchartige Sekret wird als »Hexenmilch« bezeichnet. Die secernirende Drüse besteht dann aus zahlreichen erweiterten und eng zusammengeschobenen Buchten, welche der Drüse das Ansehen einer Gruppe von Talgdrüsen geben (Langer). v. Gessner bestimmte

im Brustdrüsensekret neugeborener Kinder mikroskopisch: Milchkörperchen und Colostrumkörperchen, chemisch: Casein 5,57, Albumin 4,90, Milchzucker 9,56, Butter 14,56, Salze 8,26. Summe der festen Bestandtheile 42,95, Wasser 957,05. Bei beiden Geschlechtern bildet sich die Drüse bis zu den Pubertätsjahren langsam durch Ausbildung der späteren Ausführungsgänge weiter aus, dann beginnt ein rascheres Wachsthum, das bei männlichen Individuen meist von einer Rückbildung gefolgt ist, während es bei Mädchen zur vollkommenen Ausbildung der Drüse führt. Die eigentlichen Drüsenbläschen finden sich bei geschlechtsreifen Mädchen. Die Gänge sind dann schon wegsam, die Bläschen aber sind mit Zellen noch solid ausgefüllt. Alle Elemente sind klein, weiter von einander abstehend. Wie an anderer Stelle schon angedeutet, lässt sich der Bildungsgang der Drüse als eine stetig fortschreitende Knospung bezeichnen, die auf einer Wucherung der Epithelien in die Tiefe des Gewebes beruht. Die vollkommene Entwickelung zeigt die Drüse nur während der Ausübung des Säugegeschäfts, mit Aussetzen desselben scheint sogleich die *Involution* der Drüse zu beginnen; sie tritt wieder in den oben geschilderten *Ruhezustand* ein, die Drüsenbläschen werden klein, enthalten keine Fetttropfchen mehr, doch bleibt das gewonnene Lumen der Gänge in die Endbläschen hinein wegsam. Mitunter nehmen bei kräftigen Frauen nach dem Puerperium die Drüsenbläschen fast ganz die jungfräulichen Formen wieder an. Der *Schwund* der Drüse, der bei dem männlichen Geschlecht sehr bald eintritt, erfolgt bei dem Weibe in den klimakterischen Jahren. Das Stroma der Drüse schwindet, der Drüsenkörper wird zu einer häutigen Scheibe, in der sich nur die Gänge nicht verengert erhalten; sie endigen blind. Alles wird dünnwandig und kollabirt (Langer). Ueber Milch bei Männern und Bockmilch vgl. oben.

Zur vergleichenden Anatomie der Milchdrüse. — Die Entwickelungsgeschichte reiht die Milchdrüse an die Hautdrüsen an; bei den in gewissem Sinne niedersten Säugethieren, den Monotremen (Schnabelthieren), unterscheiden sie sich von diesen noch wenig. Ihre beiden Milchdrüsen bilden eine Gruppe von Schläuchen, die *einzeln* ohne Zitze die Haut durchsetzen, die an diesen Stellen haarlos, aber nicht hervorgewölbt ist. Das Sekret wird auf die Oberfläche des Drüsenfeldes ergossen, wo es das Junge saugt. Bei den übrigen Säugethieren finden sich die Drüsenmündungen auf Zitzen, die bei dem Saugen von dem Munde des Jungen umfasst werden. Zu jeder Zitze gehörte ein eigener Drüsencomplex meist mit einer grösseren Auswahl gesonderter Ausführungsgänge. Die Zahl der Zitzen entspricht im Allgemeinen dem Maximum der gleichzeitig fallenden Jungen. Die Zahl schwankt zwischen 2—12. Bei den Raubthieren, Insectivoren und Nagern liegen 4—12 in zwei Reihen in der Bauchgegend bis zur Brustregion. Aehnlich bei den Schweinen. Bei einigen Beutelthieren liegen sie in Kreisform angeordnet am Bauche. Andere Beutelthiere und, wie schon erwähnt, die Monotremen haben zwei Milchdrüsen am Bauche. Bei Pferden, Wiederkäuern und Walfischen liegen sie in der Weichengegend. Bei Elephanten, Sirenen (Seekühe), Bradypus (Faulthier), Fledermäusen und Affen liegen sie wie bei dem Menschen an der Brust. Bei Halbaffen kommen 2—4 Milchdrüsen vor, die in der Lage verschieden sind. Die Zahl der Milchgänge in einer Zitze ist bei den Affen noch grösser als beim Menschen. Raubthiere haben 5—10 Oeffnungen, Pferde zwei, Schweine, Wiederkäuer und Walfische nur einen, sinusartig erweitert. — Bei den Beutelthieren (Marsupiala) umschliesst eine muskulöse Hautduplikatur die zitzentragende Bauchfläche. Dieses Marsupium dient zur Aufnahme der neugeborenen Jungen, die bei der Geburt noch wenig gereift sind. Ueber die *Kropfmilch der Tauben* cf. Cap. VII.

Das Fleisch.

Die Milch ist nicht das einzige vollkommene Nahrungsmittel animaler Organismen, welches die Natur selbst zubereitet. Sie bietet den thierischen Organismen noch eine Anzahl anderer Nahrungsmittel dar, welche zur Ernäh-

rung vollkommen ausreichen: das Fleisch und die vegetabilischen Stoffe, welche letztere die Nahrung der Pflanzenfresser ausmachen, und welche theils in grünen Pflanzentheilen, theils in Samen und Wurzeln enthalten sind. Wir müssen annehmen, dass das Fleisch der Pflanzenfresser, von dem sich das Raubthier ernährt, vollkommen den Bedürfnissen des Letzteren entspricht. Es ist diese Thatsache um so leichter verständlich, weil die thierischen Körperstoffe hier direct aus einem Organismus in den anderen herüberwandern, und man sich vorstellen kann, dass die Stoffe nach ihrer neuen Aneignung von Seite des Fleischfressers in seinem Organismus direct dieselben Wirkungen werden entfalten können, zu denen sie in dem Leibe des Pflanzenfressers schon gedient haben. Auch die Pflanzenstoffe, von denen sich die Pflanzenfresser nähren, müssen als vollkommene Nahrungsgemische angesehen werden, da sie die Erhaltung jener Organismen ohne weiteren Zusatz als Trinkwasser zu besorgen vermögen. Der Mensch mischt seine Nahrung aus den Stoffen, auf welche die Natur die beiden grossen, letztgenannten Thiergruppen angewiesen hat.

Das Muskelfleisch zeichnet sich durch seinen Reichthum an Eiweissstoffen, Glutin, Fetten, Glycogen, Kreatin, Kreatinin und anderen Extractivstoffen), Phosphorsäure und Kali vor anderen Nahrungsmitteln aus. Es eignet sich durch die Leichtigkeit, mit der es bei der Verdauung aufgenommen wird, vor Allem für die Ernährung solcher animaler Organismen, die wie die Fleischfresser verhältnissmässig kleine Verdauungsorgane haben, und die vegetabilische Nahrung, welche eine weit grössere Verdauungsarbeit erfordert, nicht auszunützen vermögen. Im Fleisch geniessen wir auch reichlich Wasser, da es frisch zu 75% aus Wasser besteht.

Das Fleisch, welches in den Haushaltungen zur Nahrung benutzt wird, ist nicht reine Muskelfaser, sondern ist stets, abgesehen von dem gröberen und zarteren Bindegewebe, von dem es durchzogen wird, mit mehr oder weniger Fett umgeben und durchwachsen. In diesen beiden letzteren Beziehungen unterscheidet sich das Fleisch der verschiedenen Thierarten sehr wesentlich, während es in chemischer Zusammensetzung seiner Fleischfaser kaum merkliche Unterschiede erkennen lässt. Die Verschiedenheiten, welche die Fleischsorten dem Geschmacke darbieten, beruhen einerseits auf noch nicht näher bekannten flüchtigen Stoffen, welche theils mit den Hautsekreten dieser Thiere Aehnlichkeit zeigen, theils sich bei der Erhitzung des Fleischsaftes vielleicht erst erzeugen, andererseits auf der verschiedenen Mischung des Fettes, das sich nach den Thierspecies verschieden zusammengesetzt zeigt, bald mehr flüssig, bald mehr fest ist. Noch in den Muskeln verhungerter Thiere finden sich 2—3% Fett.

Die nähere chemische Zusammensetzung der Muskelfaser findet bei der Besprechung der Muskelphysiologie ihre Stelle.

Fleisch verschiedener Wirbelthiere. — Nach Bibra liefern 100 Theile getrocknete Muskelsubstanz, aus der zuvor alles sichtbare Fett abgetrennt war, folgende Fettmengen: Säugethiere Oberschenkelmuskeln: Mensch 7—15; Reh 7,3; Hase 5,3; Ochs 21,8; Kalb 10,4; Schaf 9,3. — Vögel Brustmuskel: wilde Gans 8,8; wilde Ente 12,5; Truthahn 13,1; Huhn 2—5.

Auch in anderen Beziehungen zeigt sich das Fleisch verschieden zusammengesetzt, wie aus den zahlreichen Analysen besonders von Schlossberger und Bibra hervorgeht. Von den Angaben des Letzteren stelle ich einige in folgender Tabelle zusammen:

Fleisch verschiedener Thiere

in 1000 Theilen:	Mensch[1]:	Ochs:	Kalb:	Reh:	Schwein:	Huhn:	Karpfen:
Wasser	744,5	776,0	780,6	746,3	783,0	773	797,8
feste Stoffe: . . .	255,5	224,0	219,4	253,7	217,0	227	202,2
lösliches Albumin Farbstoff . . .	19,3	19,9	12,9	19,4	24,0	30	23,5
Glutin	20,7	19,8	44,2	5,0	8,0	12	—
Weingeistextrakt .	37,1	30,0	12,9	47,5	17,0	14	34,7
Fett	23,0			13,0			11,1
unlösliche Eiweissstoffe, Gefässe etc.	155,4	154,3	149,4	168,1	168,1	165	113,1

Fetteres Fleisch enthält weniger Wasser als mageres. Petersen gibt als Mittel für den Wassergehalt verschiedener Fleischsorten an 76,2. Kalbfleisch 79,29; (fetteres) Schweinefleisch 71,93. Der Stickstoffgehalt des frischen Fleisches beträgt nach ihm 3,03 bis 3,64%, des trockenen 11,88 bis 15,07. Mit dem Fettgehalt nimmt der Stickstoffgehalt ab, nach Schenk schwankt er mit dem Gehalt an gröberem Bindegewebe. Das Ligamentum nuchae des Pferdes enthält 6% (5,98%) Stickstoff. Fascien, Periost etc. schwanken frisch im Stickstoffgehalt zwischen 4,85 bis 5,7%. Stark bindegewebehaltiges Fleisch enthält frisch 3,76 bis 3,92% Stickstoff. Voit nimmt für Pferde- und Hundefleisch im Mittel 3,4% Stickstoff an. Der Stickstoffgehalt schwankt sonach aus 3 Ursachen: dem wechselnden Gehalt an Wasser, Fett und Bindegewebe.

In Beziehung auf die Extraktmenge, die so wesentlich zum Wohlgeschmack beitragende Stoffe in sich birgt, haben die älteren Untersuchungen ergeben, dass sie bei wilden Thieren im Allgemeinen bedeutender ist als bei zahmen derselben Gattung. Die Muskeln, welche im Leben angestrengter waren, liefern auch mehr Extrakte (J. Ranke). Die bei der Aktion des Muskels auftretende Säure (Fleischmilchsäure) scheint das Fleisch wohlschmeckender und mürber zu machen. Dasselbe erreicht man auf natürlichem Wege durch Liegen- oder Hängenlassen des Fleisches, wobei es von selbst stark sauer wird, oder durch künstliche Säuerung durch Einlegen in Essig. Die Extraktmengen im Fleische sind aber im Ganzen wenig verschieden; nach Bibra: Gesammtextrakt: Mensch 3%; Reh 4%; Taube 3%; Ente 4%; Schwalbe 7%.

In der Fleischasche überwiegen, wie in der Milch, die Kalisalze die Natronsalze sehr bedeutend, nach Liebig und Henneberg kommen auf 1000 Theile Kali: im Fleisch vom Huhn 381, Ochsen 279, Pferd 285, Fuchs 214, Hecht 497 Natron.

Nach den Untersuchungen der Salze des Ochsenfleisches durch Stölzel findet sich unter diesen kein Natron:

Asche des gesammten Fleisches

	Pferd: (Weber)	Kalb: (Staffel)	Ochs: (Stölzel)	Schwein: (Echevarria)
Kali	39,40	34,40	35,94	35,83
Natron . . .	4,86	2,35	0	4,31
Chlorkalium .	0	0	10,22	0
Chlornatrium .	1,47	10,59	0	Chlor 0,59
Magnesia . .	3,88	1,45	3,31	4,56
Kalk . . .	1,80	1,99	1,73	7,15
Eisenoxyd .	1,00	0,27	0,98	0,33
Phosphorsäure	6,74	48,13	34,36	42,16
Schwefelsäure	0,30	0,81	2,07	0
Kieselsäure .	0	0	8,02	0
Kohlensäure .	0	0	8,02	0

Die Gesammtmenge an Asche ist bei den Menschen und Säugethieren etwa 4%, bei den Vögeln 5%.

Hygieinische Betrachtungen. — Fleischzubereitung. Liebig, dem wir die ausführliche Erforschung des Fleisches in chemischer Beziehung verdanken, hat auch Gesetze für die Fleischzubereitung als Nahrungsmittel aufgestellt. Es ist eine bekannte Erfahrung, dass rohes Fleisch im Allgemeinen weniger leicht verdaulich ist, als durch Zubereitung (Erhitzen) verändertes. Zum Theil beruht dieser Unterschied darauf, dass rohe Fleischstückchen vom Magensaft weniger leicht gelöst werden können als gekochte oder gebratene. Dieser Unterschied, der schon bei linsengrossen Stücken ersichtlich wird, fällt dagegen weg, wenn das Fleisch geschabt ist. Der Haupteinfluss, den die Zubereitung des Fleisches ausübt, findet auf das Bindegewebe desselben statt. Das Bindegewebe wird in Leim umgewandelt. Die freie Säure, die sich bei dem Liegen des rohen Fleisches entwickelt, wirkt bei diesem Umwandlungsprocess mit, da bei freier Säure schon bei 60° C. das Bindegewebe in Leim übergeht. Daher wird das Fleisch, womöglich erst einige Zeit nach dem Schlachten, wenn es möglichst viel Säure enthält, zum Genuss zubereitet. In demselben Sinne wirkt Essig. Die Säureentwickelung (Fleischmilchsäure) im frisch geschlachteten Fleisch kann durch Erwärmen desselben auf etwa 40 C. sehr beschleunigt werden, wodurch frischgeschlachtetes Fleisch für den Genuss wesentlich zuträglicher wird, was besonders für die Ernährung der Truppen im Felde von Wichtigkeit ist. Auch Zerhacken und starkes Klopfen (weniger) beschleunigt die Säureentwickelung im frischen Fleische. Eine Erhitzung der Fleischfaser selbst auf 60°—70°, wie sie bei dem Braten grösserer Fleischstücke eintritt, macht dieselben leichter verdaulich, leichter in Magensaft löslich, eine Erhitzung über 75°—100° macht die Faser dagegen hornartig fest, weniger verdaulich. Bei höheren Temperaturgraden verflüssigen sich die Eiweisskörper in Peptone (cf. Magenverdauung).

Die Fleischzubereitung, um dasselbe als Nahrungsmittel für den Menschen tauglich und schmackhaft zu machen, geschieht eigentlich nur auf dreierlei Wegen: es wird gebraten, gekocht und gedämpft. Durch diese verschiedenen Zubereitungsweisen wird das Fleisch in verschiedener Art chemisch verändert.

Durch das Kochen in Wasser werden dem Fleische seine in heissem Wasser löslichen Bestandtheile entzogen; diese gehen in die Fleischbrühe über, welche ihnen ihren eigenthümlichen Geschmack und ihre belebende Wirkung als Genussmittel verdankt. Wird das Fleisch langsam erwärmt, so löst sich ein nicht unbeträchtlicher Theil von Eiweisssubstanzen aus dem Muskelsafte auf, welcher bei Steigerung der Temperatur gerinnt und als eine graue, schaumige Masse, Fleischschaum, abgeschöpft wird und damit für die Ernährung verloren geht. Unter den Stoffen, welche aus dem Fleische beim Kochen ausgelaugt werden, stehen die Fleischsalze obenan, welche fast alle in die Fleischbrühe übergehen. Im Fleische bleiben hauptsächlich nur die phosphorsauren Erden zurück. Nach den Analysen von Keller findet sich die Asche des Ochsenfleisches in 100 Theilen zusammengesetzt aus:

Phosphorsäure	36,60
Kali	40,20
Erden und Eisenoxyd	5,69
Schwefelsäure	2,95
Chlorkalium	14,81.

Von diesen Salzen gehen bei längerem Kochen 82,27% in die Fleischbrühe.

Im Fleische bleiben nur:

Phosphorsäure	10,36
Kali	4,78
Erden und Eisen	2,54.

Im Ganzen etwa 18% der ursprünglich im Fleisch enthaltenen Salze. Eine Verbesserung tritt dadurch ein, wenn das Wasser, worin das Fleisch siedet, kalkhaltig ist. Es wird dann die ausgelaugte Phosphorsäure als phosphorsaurer Kalk wieder auf das Fleisch niedergeschlagen.

Bei der gewöhnlichen Art des Fleischsiedens tritt der Auslaugungsprocess nicht vollkommen in dem Maasse ein, wie man es vielleicht aus dem bisher Gesagten entnehmen könnte. Sobald die Temperatur des Fleisches bis zum Punkte der Gerinnung des Eiweisses gesteigert ist, bildet dieses einen Verschluss gegen das Eindringen des Wassers von Aussen her und das Austreten von Fleischflüssigkeit. Der Auslaugungsprocess erstreckt sich also nur auf eine geringere Tiefe, wenn das Sieden des Fleisches nicht allzu langsam vorgenommen wird.

Wenn wir das Fleisch fein wie zur Wurstbereitung zerhacken und mit viel Wasser kalt auslaugen, so erhalten wir in die Fleischbrühe fast alle löslichen Stoffe des Fleisches. Nach Liebig lösen sich von 1000 Theilen Ochsenfleisch 60 Theile auf, und zwar 29,5 Theile Albumin und 30,5 lösliche Salze und Extraktivstoffe, welche letztere allein in die heisse Fleischbrühe übergehen. Vom Hühnerfleische lösen sich 33,0. Im allergünstigsten Falle könnte also das heisse Wasser aus dem Ochsenfleische nur 3% aufnehmen, welche bei der heiss bereiteten Fleischbrühe noch durch eine geringe Menge obenauf schwimmendes Fett und Leim vermehrt werden würde, welch letzterer aus der Umwandlung des Bindegewebes — der leimgebenden Substanzen — hervorgeht. Je jünger das Thier ist, desto weniger hat noch die Veränderung des Bindegewebes in elastisches Gewebe, das durch Kochen nicht mehr in Leim übergeführt werden kann, Platz gegriffen; um so leimreicher wird also die Fleischbrühe sein. 1000 Theile ausgelaugtes Ochsenfleisch geben 6, Kalbfleisch 47,5 Theile trockenen Leim.

Bei dem Sieden verliert das Fleisch durch Wasserabgabe sehr bedeutend an Gewicht, viel mehr als der Verlust der aufgelösten Stoffe beträgt, Ochsenfleisch verliert 15, Hammelfleisch 10, Hühnerfleisch 13,5 Procent. Wenn wir Fleisch in Dampf erhitzen, so sehen wir es sehr bald sich mit Flüssigkeit beschlagen, welche sich bei der Untersuchung als Fleischflüssigkeit herausstellt. Es erinnert diese Beobachtung an die von G. v. Liebig beobachtete Ausscheidung von Muskelflüssigkeit, wenn sich der Muskel längere Zeit in einer Kohlensäure-Atmosphäre befindet: Die todte Muskelmembran — Sarkolemma — verliert die Fähigkeit, ihren flüssigen Inhalt zurückzuhalten. Ein Pfund gekochtes Fleisch enthält also, abgesehen von dem Verluste an löslichen Stoffen, da es wasserärmer ist, weit mehr nährende Bestandtheile als ein Pfund rohes Fleisch.

Bringt man das Fleisch direct in siedendes Wasser und lässt es darin einigemale aufwallen, so erhält man eine sehr schwache, wenig schmackhafte Fleischbrühe, denn die löslichen Fleischstoffe bleiben fast alle, durch die rasch entstandene Eiweisshülle geschützt, in dem Fleische zurück. Der Process des Bratens ist dem eben geschilderten ganz analog. Das Fleisch wird in Fett erhitzt, durch dessen hohe Temperatur sich sehr rasch eine für die Flüssigkeit des Fleisches undurchdringliche Hülle bildet, welche durch das eindringende Fett für die wässerige Flüssigkeit noch unwegsamer wird. Dadurch wird der Saft sehr vollständig zurückgehalten, so dass das Fleisch saftig und zart bleibt. Beinahe ebenso wenig wie wir durch langes Sieden ein Ei weich bekommen, ist dieses bei dem Fleische möglich. Durch die Siedehitze wird, wie oben angeführt, die Fleischfaser nach und nach fest und hart, schliesslich hornartig. Um Fleisch saftig gar zu bekommen, muss es einige Zeit auf einer Temperatur von 60°—70° erhalten werden. Bei grossen Fleischstücken regulirt sich die Temperatur von selbst. Wir beobachteten, dass ein eingestecktes Thermometer nicht über 70° im Innern des Stückes selbst bei längerem Braten oder Kochen steigt. Ein sichtbares Zeichen davon ist die noch blutige Färbung des Fleischsaftes im Innern grosser Fleischstücke, welche beweist, dass die Hitze nicht auf 70° gestiegen ist, da schon bei 70° die Gerinnung des Blutalbumins und Farbstoffs vollkommen ist. — Bei dem Dämpfen des Fleisches, dem Kochen des Fleisches in Wasserdampf, wird die Uebertragung der höheren Temperatur auf dasselbe dem Wasserdampfe überlassen. Auch beim Braten findet ein Gewichtsverlust statt: Rindfleisch verliert 19, Hammel- 24, Lamm- 22, Hühnerfleisch 24% seines Gewichts.

Fleischpräparate. — Gesammtfleisch. Um es leichter zu konserviren, wird ihm Wasser entzogen, wodurch es vor der Fäulniss sehr vollkommen geschützt wird. Diese Wasserentziehung kann durch Trocknen des in dünne Streifen geschnittenen fettfreien Fleisches

an der freien Luft geschehen, wie es die Indianerstämme Nordamerikas als Pemmikan auf ihre Jagdzüge mitzunehmen pflegen. Zur Konservirung des Fleisches wird es auch hermetisch in Blechbüchsen verschlossen und auf 100° C. erhitzt. Nicht so gründlich ist die Austrocknung durch das Räuchern, wobei die Produkte der Holzdestillation noch eine antiseptische, fäulnisswidrige Wirkung entfalten. Aehnlich ist es bei dem Einsalzen (Pökeln), wobei dem Fleische noch eine grosse Menge Wassers entzogen wird und das Salz das halbgetrocknete Fleisch vor Fäulniss schützt. Bei dem Einsalzen tritt Wasser aus dem Fleische zu dem Salze, mit ihm aber auch die Hauptmenge der in der Fleischflüssigkeit gelösten krystallinischen Körper und Eiweissstoffe, wodurch sein Nährwerth vermindert wird. LIEBIG hat vorgeschlagen, die Salzlake einzudampfen, bis das Kochsalz herauskrystallisirt, und die rückbleibende concentrirte Fleischflüssigkeit zum Fleische mit zu geniessen. Gewöhnlich findet man das Salzfleisch von einer weissen Kruste bedeckt. Es rührt dieselbe daher, dass das zum Einsalzen verwendete Kochsalz auch Kalk- und Magnesiasalze als Verunreinigung in sich enthält. Die Phosphorsäure des Fleischsaftes bildet mit ihnen die bekannten unlöslichen Salze, welche sich auf dem Fleische niederschlagen. Nichts wäre weniger zweckmässig, als diese weisse Kruste entfernen zu wollen, die den durch die Zubereitung gesetzten Mangel wenigstens theilweise ausgleicht. Der Kaligehalt des Schweinefleisches sinkt von 37,79% der Asche durch Pökeln und Räuchern auf 5,30%, die Phosphorsäure von 44,47 auf 4,71; der Kaligehalt des Ochsenfleisches von 35,94 durch Einsalzen auf 24,70, die Phosphorsäure von 34,36 auf 21,41% der Asche.

Fleischpräparate. — Fleisch-Eiweissstoffe. Die Fähigkeit eines Theiles der Fleischeiweissstoffe, sich in sehr verdünnter Säure zu lösen, veranlasste LIEBIG zur Herstellung eines Fleischpräparates, welches die Hauptbestandtheile des Fleisches — Eiweissstoffe und Salze — dem Organismus in gelöster, wie wir später noch näher erkennen werden, schon halb verdauter Form zuführt und welches für Kranke, denen keine feste Nahrung gereicht werden kann, den Fleischgenuss ersetzen soll. Dieser kalt bereitete Fleischaufguss ist auch in den Arzneischatz aufgenommen. Es ist klar, dass man das zu einem vollkommenen Nahrungsmittel noch Fehlende — z. B. Kohlehydrate — eben so in gelöster Form neben dem Fleischauszug noch zu reichen hat, da ja dem wässerigen Infuse kein Fett beigemischt ist. Zur Bereitung des Infuses — Infusum carnis frigide paratum LIEBIG — setzt man dem feinzerhackten Fleische eine sehr verdünnte (1 per mille = 3 cc rauchende Salzsäure auf 1000 cc Wasser) Salzsäure zu. Schon nach einer halben Stunde lässt sich in der Flüssigkeit, die man häufig umrührt, ein nicht unbedeutender Eiweissgehalt nachweisen. Das Infus muss kalt und ohne Salzzusatz genossen werden, durch Kochsalzzusatz fällt der grösste Theil des Albumins heraus. Der nicht eben angenehme Geschmack beeinträchtigt den längeren Fortgebrauch dieses Mittels manchmal bald. Nicht ganz sorgfältig bereitet ist sein Eiweissgehalt sehr gering, er kann unter 1% der Flüssigkeit sinken.

Etwas Aehnliches ist der »frisch ausgepresste Fleischsaft« (cf. Muskel).

Fleischpräparate. — Die Fleischextraktivstoffe und Salze enthält das auch vor Allem von LIEBIG empfohlene Extractum carnis, welches in letzter Zeit von Südamerika in grösseren Partien in den Handel kommt. Das LIEBIG'sche Fleischextrakt ist nichts anders als eine aus Ochsenfleisch bereitete, eingedickte Fleischbrühe, welcher kein Leim beigemischt ist. Das Fleischextrakt hält sich jahrelang auch unter der Einwirkung von Luft unverändert und man kann daraus durch Verdünnung mit Wasser und etwas Kochsalzzusatz Fleischbrühe von jeder beliebigen Stärke herstellen.

Das Extrakt enthält vor Allem die dem Organismus zur Bildung seines Fleisches dienlichen organischen Stoffe, Kali und Phosphorsäure, die zur Ernährung nothwendig gehören. Doch wird Niemand auf den Gedanken kommen können, dass sie allein im Stande sein könnten, die Ernährung zu unterhalten. Sie können dazu nur mitwirken, wenn auch die übrigen nothwendigen Ernährungsbedingungen erfüllt sind, wenn dem Organismus Eiweissstoffe und Fette oder an Stelle der letzteren Kohlehydrate in genügender Menge gleich-

zeitig geboten werden. Die organischen Stoffe, welche in dem Fleischextrakte neben den Salzen enthalten sind, werden im Sinne der kraftproducirenden Nahrungsstoffgruppe cf. Ernährungsgesetze wirksam werden können. Dem Gehalt des Extraktes an Kreatin und Kreatinin scheint eine besondere Bedeutung zuzukommen. Aus C. Voit's Angaben entnehme ich, dass bei der Muskelaktion diese beiden Stoffe zum Zwecke der Krafterzeugung verbraucht werden. Zum Theil gehen sie jedoch in den Harn über. Unser Urtheil über den Nahrungswerth der Fleischbrühe und des gleichwerthigen Fleischextraktes ist durchaus nicht gewillt, die Bedeutung dieser Stoffe, welche eine tausendjährige Erfahrung dem Gesunden wie dem Kranken gelehrt hat, irgendwie zu bezweifeln oder zu bemäkeln. Es steht fest in dem Bewusstsein jedes Arztes und jedes Deutschen, die wir uns an dem Genusse der Fleischbrühsuppen täglich erquicken, dass dem Fleischextrakte ein hoher Werth ebenso im Haushalte des Organismus als in unseren Haushaltungen zugeschrieben werden müsse. Was gibt nach Ermüdung oder in krankhaften Schwächezuständen mehr Kräftigung und Stärkung als eine kräftige Fleischsuppe! Das Fleischextrakt, sagt Parmentier, bietet im Gefolge eines Truppencorps den schwerverwundeten Soldaten ein Stärkungsmittel dar, welches mit etwas Wein seine durch grossen Blutverlust geschwächten Kräfte augenblicklich hebt und ihn in den Stand setzt, den Transport in das nächste Hospital zu ertragen. Selbstverständlich darf neben dem Extrakt andere konsistente Nahrung nicht fehlen. Wir wissen aus den Untersuchungen von J. Ranke, Kemmerich, Bogoslowsky u. A., worauf abgesehen von dem directen Werth als Nahrungsmittel diese belebende Wirkung der Fleischbrühe beruht. Es sind die Extraktivstoffe (Kreatinin und Salze, von diesen namentlich die sauren, phosphorsauren Salze, die sie in so enormer Menge enthält, so wie die Milchsäure und ihre sauren Salze, welche eine nervenbelebende Wirkung in geringeren Dosen besitzen. Temperatur und Pulsfrequenz steigen nach Eingabe von Fleischextrakt (was Bunge mit Unrecht bestreitet). Dazu kommt noch der angenehme Geruch und Geschmack des Fleisches, der in Schwächezuständen gewöhnlich noch lebhafter und angenehmer empfunden wird als sonst. Wir haben in der Fleischbrühe nicht nur ein Nahrungsmittel, sondern auch ein von der Natur selbst uns zubereitetes Nervenreizmittel. Seine angenehmen, bei mässigen Dosen durch schädliche Nachwehen nicht belästigenden Wirkungen beweisen uns, dass es für den geschwächten Organismus kaum ein entsprechenderes Heil- oder Belebungsmittel geben kann. Bei übermässiger Zufuhr kann bei Kaninchen der Tod erfolgen. Die Gesammtfleischbrühe wirkt stärker toxisch als ihre Salze (Bogoslowsky). J. Weidel hat im Fleischextrakt als konstanten Bestandtheil einen dem Theobromin ganz nahe stehenden Stoff Carnin gefunden. — Valentines Meat-Juice ist Fleischextrakt mit 0,45 Gramm Eiweiss in Fläschchen.

Unsere Betrachtungen räumen dem Salzgehalt in den Nahrungsmitteln eine sehr wichtige Stellung ein, nachdem wir nun wissen, dass derselbe wenigstens eine doppelte Function als Nahrungsmittel und als Reizmittel zu erfüllen hat; besonders sind es die weitverbreiteten, sauren, namentlich phosphorsauren Salze, welche für uns an Bedeutung gewinnen. Bei der Milchmolke haben wir schon den Gedanken ausgesprochen, dass sie ihre stärkende Wirkung vielleicht ihrem Salzgehalt, der mit dem des Fleisches in qualitativer Beziehung nahe übereinstimmt, verdanken könnte. Das Gleiche gilt von Bier, gutem Weine, frischen Pfanzensäften, Gemüsen, deren ungemeine Wirkung für die Erhaltung einer gesunden Ernährung auf Schiffen und in Gefangenenhäusern so deutlich hervortritt, indem ohne sie der Skorbut fast unvermeidlich ist. Liebig macht darauf aufmerksam, dass die Salze sicher auch für den Verdauungsprocess mit wirksam werden. Sie thun dieses auch auf einem indirecten Wege, indem sie durch die von ihnen vermittelten Geschmacksreize und Reize der Magenschleimhaut, sowohl die Speichelabsonderung als die Absonderung des Magensaftes befördern. In erster Beziehung sind auch besonders die schmeckbaren organischen Stoffe des Fleischextraktes wirksam. Wir wissen, wie stark unter ihrer Einwirkung bei dem Essen die Speichelsekretion eintritt; bei dem Hungrigen beginnt sie schon in hohem Maasse bei dem Riechen des Bratens, noch ehe ihn die Lippen berührt haben.

Fleischpräparate. — Leim. Die Bouillontafeln bestehen ihrer Hauptmasse nach aus Leim. Man stellte Gallertsuppen dar, die viel reicher an Leim waren als die aus Fleisch dargestellten, durch Kochen von Knochen in verschlossenen Gefässen Papin'schen Topfen) bei erhöhter Dampfspannung. Auf diese Weise erhält man neben Fett 28% Gallerte (trockene). Man kann beide: Fleischextraktsuppe und Gallertsuppe leicht dadurch unterscheiden, dass man sie bei 100° eindampft und den Rückstand mit Alkohol behandelt. Das Fleischextrakt soll sich zu 4/5 in Weingeist lösen, während von der Bouillontafel fast Nichts in Lösung geht. Der Gallertsuppe kann, bei entsprechend niedrigem Preis, ein unter Umständen relativ nicht unbedeutender Nahrungswerth nicht abgesprochen werden. Ebenso anderen aus Leim bestehenden Gerichten, den aus Kalbsfüssen, Hausenblase dargestellten Gelatinen, den Kalbsfüssen selbst etc. (cf. Ernährungsgesetze).

Fleischpräparate. — Fett. Das Fleisch (Ochsenfleisch), das vom Metzger geholt wird, enthält im Grossen und Ganzen etwa 33% Fett.

Die Fette der verschiedenen zur Nahrung verwendeten Fleischsorten sind ziemlich ähnlich zusammengesetzt. Das Menschenfett, welches durch den Fettgenuss erzeugt werden soll, ist weich, schmilzt bei 25° C. und ist aus den Glyceriden der Stearinsäure, Palmitinsäure und Oelsäure zusammengesetzt. Seine Elementaranalyse ergibt nach Chevreul: C 79,00; H 11,42; O 9,58. Nach demselben Autor zeigen die anderen Fettsorten, Schweineschmalz, Hammeltalg, genau die gleiche elementare Zusammensetzung, obwohl die Quantitäten ihrer Mischung aus verschiedenen Fetten nicht harmoniren: Schweineschmalz: C 79,10; H 11,15; O 9,75. Hammeltalg: 79,00; 11,70; 9,30. Hammeltalg und Rindstalg bestehen qualitativ aus den gleichen Glyceriden wie das Menschenfett, doch überwiegen in beiden, noch mehr in dem zweiten, die festen Fettsäuren (Stearinsäure) weit über die Oelsäure. Das Schweineschmalz besteht fast nur aus Palmitinsäure- und Oelsäure-Glycerid. Das Gänsefett ist quantitativ dem Menschenfett am ähnlichsten zusammengesetzt.

Der Leberthran, zu unterscheiden von dem Fischthran, aus dem Fette der Walfische und Robben bereitet, wird in neuerer Zeit als medicinisches Nahrungsmittel vielfach verwendet. Er wird aus den Lebern verschiedener Gadus- (Schellfisch-) arten: G. callarias, G. carbonarius, G. pollachius, G. Morrhua besonders in Norwegen dargestellt. Der weisse Leberthran wird durch freiwilliges Ausfliessen des Oels aus den aufgeschichteten Fischlebern, der gelbe durch Auspressen und Auskochen gewonnen. Er besteht hauptsächlich aus Oelsäureglycerid, flüchtigen Fettsäuren, Gallenstoffen, geringen Mengen: 0,05% Jod und Brom. Unter seinen Mineralbestandtheilen findet sich phosphorsaurer Kalk, wodurch er für die Knochenbildung wichtig werden kann.

Das Glycerin soll nach A. Cattillon in kleinen Gaben eine günstige Wirkung auf die Ernährung ausüben, nach Dujardin-Baumetz und Audige wirkt es in grossen Gaben giftig. Cattillon gab Meerschweinchen zu ihrem gewöhnlichen Futter 0,5 Gramm Glycerin und sah sie viel bedeutender an Gewicht zunehmen als sonst gleich, aber ohne Glycerin gefütterte; 30 Gramm seien die richtige Dosis für den Menschen, dessen Harnstoffausscheidung dadurch abnehmen soll; in so kleiner Gabe auf einmal genommen befördere es den Appetit, die Verdauung und Defäcation.

Das Drüsengewebe der Thiere schliesst sich als Nahrungsmittel dem Fleische direct an, Leber, Milz, Nieren, Gekröse etc., auch das Gehirn und Knochenmark. Das letztere ist besonders reich an Fett. Hierher gehören auch die Eier. Die specielle Zusammensetzung dieser Gebilde findet sich bei ihrer physiologischen Betrachtung abgehandelt. Sie enthalten mehr oder weniger Albuminate, Lecithin, Fette, Kohlehydrate, namentlich in der Leber die glycogene Substanz, phosphorsaures Kali und andere wichtige Blutsalze, Wasser, specifische Bestandtheile, Extraktivstoffe. Ihre Zusammensetzung ist dem Fleische mehr oder weniger ähnlich.

Thierische Nahrungsmittel (nach Moleschott)

in 1000 Theilen.	Fleisch von Saugethieren	Vögeln	Fischen	Leber der Wirbelthiere	Huhnereier	Milch
Wasser	728,75	729,83	740,82	720,06	733,04	861,53
Albuminate . . .	174,22	202,61	137,40	128,20	194,34	39,43
leimgebende Substanz	31,59	14,00	43,88	37,38	—	—
Fett	37,15	19,46	45,97	35,04	116,37	49,89
Kohlehydrate . . .	—	—	— }	59,26 }	3,74	43,23
Extraktivstoffe . .	16,90	21,11	16,97 }			—
Salze	11,39	12,99	14,96	14,06	10,51	5,92

Der grossere Gehalt an Lecithin in den Eiern, im Gehirn etc. ist sehr beachtenswerth (Brucke), da der animale Organismus dasselbe zum Aufbau seiner wichtigsten Organe (Nervengewebe, Samen etc.), in grosserer Menge, uberhaupt zum Wachsthum alles Protoplasmas (Hoppe-Seyler) nothwendig bedarf. Ueber sein Vorkommen im Pflanzenreiche cf. S. 78.

Hygieinische Betrachtungen. — Freiwillige Veränderungen des Fleisches. Schon im lebenden Thiere finden sich wesentliche Schwankungen in der Zusammensetzung seines Muskelfleisches, die sich hauptsächlich auf die Veränderung seines Wasser-, Fett- und Extraktgehaltes beziehen. Fur den Ernahrungswerth ist wichtig, dass das gemastete Fleisch sehr viel reicher an festen Stoffen ist als das ungemästete, so dass der reale Werth des gemästeten Fleisches, durch seinen geringeren Wassergehalt und gesteigerten Fettgehalt, den des mageren sehr bedeutend ubertrifft. Z. B. mageres Schweinefleisch hatte nach meinen Bestimmungen 21,0 % feste Stoffe, ein fettes Stuck von demselben Thier dagegen 22,2 %. Die verschiedenen Muskeln desselben Thieres zeigen eine Verschiedenheit in ihrem Wassergehalte. Bei Kaninchenruckenmuskeln fand ich die festen Stoffe zu 23,9 %, das Herz enthielt dagegen nur 21,6 %. Nach E. Bischoff differirt der Wassergehalt zwischen der Stammmuskulatur und dem Herzen bei dem Menschen ebenfalls um mehrere Procente im gleichen Sinn wie bei den Kaninchen. Das Fleisch gehetzter Thiere (Jagdthiere) soll ungesund sein. Ebenso das von Thieren, die an manchen Krankheiten gestorben sind. Der Leber des Eisbären werden giftige Eigenschaften zugeschrieben. Ueber die Ursachen dieser Schädlichkeiten ist noch wenig Sicheres bekannt. Die rasche Fäulniss des Fleisches, die nach Krankheiten eintritt, spielt in dem einen Fall sicher eine Hauptrolle.

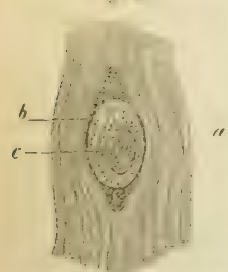
Nach dem Tode des Thieres macht das Fleisch in analoger Weise, als wenn es vom Korper getrennt ist, gewisse regelmässige Veränderungen durch. Zuerst verschwindet die normale neutrale Reaktion des Fleisches und macht einer ansteigenden sauren Reaktion Platz. Das Myosin wird dadurch gefällt, das frisch sehr elastische, weich anzufühlende Fleisch wird starr, fester (Todtenstarre). Es findet eine Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlensäure statt. Auf der Höhe der Säurebildung ist das Fleisch für die Zubereitung am geschicktesten, da sich die leimgebenden Gewebe dann am leichtesten in Leim verwandeln; besonders ist diese Säuerung, die auch durch künstliche unterstützt werden kann, für das Fleisch des Wildes zur Zubereitung erforderlich. Durch die Einwirkung des Luftsauerstoffs bildet sich, besonders rasch bei höheren Lufttemperaturen, z. B. im Sommer, ein oberflächlicher Fäulnissprocess, der mit Aufnahme von Sauerstoff, Abgabe von Kohlensäure und Stickstoff und mit Bildung ammoniakalischer, riechender Zersetzungsprodukte des Fleisches und des Fettes einhergeht. Durch Kälte (Eis) kann dasselbe hintangehalten werden, ebenso für einige Zeit durch Eintauchen des Fleisches in starken Alkohol. Endlich geht bei dem Fortschritt dieser fauligen Zersetzung die saure Reaktion des starren Fleisches von der Oberfläche fortschreitend in eine alkalische über, die Starre, das Myosingerinnsel, löst sich, das Fleisch fühlt sich wieder weicher an. Hat sich dieser Zustand in hoherem Maasse ausgebildet, so wird der Genuss des Fleisches und der Fleischspeisen schadlich. Besonders in der Form von Würsten wird derartig schlechtes Fleisch noch haufiger genossen, daher sind die Wirkungen »des Wurstgiftes« besonders bekannt. Die Giftigkeit

der Würste tritt meist früher ein, als die Fäulniss sich durch Geruch deutlicher kund gibt, was bei ähnlichen Giften, wie *Leichengift*, das sich auch in Thierleichen entwickelt, genau ebenso ist. Von Interesse ist eine Beobachtung in dieser Hinsicht, die ich u. A. an Würsten gemacht haben, welche nach oberbayrischer Sitte aus dem Darm, in den sie zur Gewinnung der Form gefüllt wurden, nach der Anfertigung wieder herausgestrichen und nur zur Konservirung der Form oberflächlich gesotten werden. Sie bestehen aus geklopftem Kalbfleisch (Wollwürste) und haben also fertig keine Darmhülle. Diese Würste beginnen nach ein bis zwei Tagen, bei mittlerer Temperatur aufbewahrt, zu *leuchten* mit einem ziemlich starken phosphorescirenden Lichte. Ob diese Erscheinung mit dem aus der Herstellung stammenden Ueberzug von Darmschleim zusammenhängt, ist noch nicht konstatirt. Mit dem Fortschritt der Fäulniss, wobei sich die Oberfläche mit einer alkalischen schmierigen Schicht überzieht, hört das Leuchten auf. Diese *leuchtenden Würste* werden übrigens noch, wie es scheint, ohne Schaden gegessen. Am bekanntesten ist das *Leuchten faulen Holzes* und *fauler Fische*, namentlich Seefische. Auch *leuchtender Harn* und *leuchtender Schweiss* wird von E. Pflüger erwähnt. Letzterer hält die auf der Oberfläche der leuchten-Objecte in einer »Schleimschicht« befindlichen Organismen — Spaltpilze, Infusorien etc. — für die Ursache des Leuchtens, bei ihnen erfolge die Oxydation so energisch, dass sie die der Verbrennung unterliegenden Atomgruppen in Glühhitze versetzen.

Das Wesen des *Wurstgiftes* ist noch nicht aufgeklärt. Vielfältig denkt man als Ursache an niedere pflanzliche Organismen, Pilze. In der neuern Zeit ist man darauf aufmerksam geworden, dass mit Fällen, bei denen Wurstgift wirklich vorhanden ist, sich auch andere mischen, bei denen durch Wurst oder Fleisch (von Schweinen) *Trichinen* lebend in den Körper in grosser Anzahl eingeführt werden, deren Wanderungen aus dem Darm, den sie durchbohren, in die Muskeln, in denen sie sich encystiren, mit einer Vergiftung zu verwechselnde Erscheinungen hervorbringen. Besonders durch rohes Schweinefleisch können auch *Cysticerken* (*Finnen*) in den Darmcanal eingeführt werden, die Anlass zur Bildung von Bandwürmern werden. Durch fortgesetzte Siedehitze werden diese Organismen getödtet, das Fleisch, das sie enthält, unschädlich.

Zur Untersuchung des Fleisches. — Ueber die saure oder alkalische Reaktion gibt eine Prüfung mit blauem *Lakmuspapier*, das durch Säuren geröthet wird, und ein *Curcumapapier*, dessen gelbe Farbe durch Alkalien gebräunt wird, einfachen Aufschluss. Man drückt ein kleines Stückchen des auf seine Reaktion zu prüfenden Fleisches auf ein grösseres Stück des Reagenspapieres auf; es entsteht dann ein rother resp. brauner Fleck. Geröthetes Lakmuspapier wird durch Alkalien gebläut, was für diesen Zweck fast noch sicherere Resultate als mit Curcumapapier gibt. Fortgeschrittene Fäulniss diagnosticirt das Geruchsorgan am sichersten, bei oberflächlich riechendem Fleische sind oft die inneren Schichten noch auf dem Maximum ihres Säuregehalts; das ganze kann (Wild) noch gesund zu geniessen sein, da die Fäulnissprodukte durch (Erhitzen) Kochen zerstört werden. Bei eigentlicher Fäulniss zeigt das Mikroskop die unten bei der Harnfäulniss abgebildeten niederen Fäulnissorganismen und die Sargdeckelformen der phosphorsauren Ammoniakmagnesiakrystalle. Ueber *Cysticerken* und namentlich *Trichinen* gibt auch das Mikroskop Aufschluss. (Fig. 59.) Die *Cysticerken* oder *Finnen* treten auf der frischen Schnittfläche von Schweinefleisch, wenn man dieselbe seitlich zusammendrückt, als ein stecknadelkopf- bis erbsengrosses Bläschen trüb und graulichweiss hervor. Die Zunge ist ein Hauptsitz der Finnen, aus denen bekanntlich viele *Bandwürmer* des Menschen entstehen. Durch Erhitzen (Kochen, Braten), weniger sicher durch Einsalzen und Räuchern werden die Finnen getödtet; bei grösseren Fleischstücken erreicht aber die Temperatur auch bei der Zubereitung durch Wärme häufig die erforderliche Höhe zur Zerstörung des Lebens der Finnen nicht. Die noch gefährlichere *Tri-*


Fig. 59.



Eingekapselte Trichine beim Menschen. *a* Muskelfäden; *b* Kapsel; *c* Wurm.

chine hat etwa 1 mm Länge, sie sitzt in grösster Anzahl bei trichinösen Thieren besonders in den mehr sehnigen Theilen des Muskels in der Nähe des Knochens, am zahlreichsten meist in den Nackenmuskeln, im Zwerchfell, in den Augenmuskeln etc. Zur Untersuchung nimmt man aus verschiedenen Stellen, namentlich aber aus der Nähe des Knochens kleine Stückchen parallel zur Fleischfaser, welche man fein zerzupft und mit Wasser, im Nothfall mit etwas Kalilaugezusatz, bei 50—100facher Vergrösserung untersucht. Starke Hitze tödtet die Trichine, Räuchern und Einsalzen nicht.

Getreide und andere vegetabilische Nahrungsmittel.

Der Wilde ist im Stande, von Fleisch allein, dem er nur noch Speck oder Fett zusetzt, zu leben. Die Gesittung der Welt ist an die Kenntniss des Getreidebaues geknüpft. Dieser macht es möglich, dass auf einen verhältnissmässig kleinen Raum zusammengedrängt eine bedeutende Anzahl von Bewohnern gesellig ihren Lebensunterhalt zu finden vermag, während der Jäger jeden Fremden, der das Jagdgebiet betritt, von dem er seine mühselig erkämpfte spärliche Nahrung zieht, als seinen natürlichen Feind betrachten muss. Die Civilisation, die in dem geselligen Zustande der Menschen wurzelt, hat ihren letzten Grund in der vergleichsweise mühelosen Art, mit welcher der Ackersmann im Verhältniss zum Jäger nicht nur Nahrung für sich, sondern auch für andere, die nicht auf dem Felde arbeiten, zu gewinnen vermag.

Der Grund, warum die Menschheit seit den ältesten Zeiten auf den Anbau der Körner- und Hülsenfrüchte gekommen ist, scheint, von physiologischer Seite betrachtet, der zu sein, dass diese eingeschlossen in eine unlösliche, unverdauliche Hülle eine Mischung von Nahrungsstoffen enthalten, welche in allen Beziehungen der Milch und dem Fleische sehr ähnlich ist. Wir finden hier die gleichen anorganischen Salze, die Salze des Blutes, vorwiegend Kali und Phosphorsäure, reichlich gemischt mit organischen Stoffen, welche der Gruppe der Albuminate, der Kohlehydrate und Fette angehören. Doch sind letztere in geringerer Menge vorhanden. Die Hauptbestandtheile sind, wie uns aus der Zellenchemie schon bekannt (cf. S. 64), die Pflanzeneiweissstoffe, das Stärkemehl und die Salze.

Chemische Zusammensetzung. — Nach Will und Fresenius enthält in 100 Theilen Asche

	rother Weizen:	weisser Weizen:
Kali	21,87	33,84
Natron	15,72	—
Kalk	1,93	3,09
Magnesia	9,60	13,54
Eisenoxyd	1,36	0,31
Phosphorsäure	49,36	49,21
Schwefelsäure	—	—
Kieselerde	0,15	—

Auffallend ist es, wie in diesen Pflanzengeweben das Natron z. Th. das Kali ersetzen kann, während bei den Thieren und ihren Organen von einer solchen Vertretungsmöglichkeit Nichts bekannt ist.

Das Mehl, welches man aus den Getreidefrüchten bereitet, weicht je nach seiner grösseren oder geringeren Reinheit an Kleie von der Zusammensetzung des Gesammtkornes ab.

Payen fand, dass die Pflanzeneiweissstoffe, der Kleber, in den äusseren Theilen des Kornes in grösserer Menge angehäuft seien wie in den inneren, so dass also derjenige Antheil des Mehles, welcher bei mangelhaften Mühleneinrichtungen bei der Kleie bleibt, sehr albuminreich ist. Das Mehl aus den Aussenschichten der Körner enthält bis zur Hälfte mehr Eiweisssubstanzen als das Mehl von dem Kerninnern. In einigen Gegenden wird aus grobgemahlenem Gesammtmehl mit der Kleie das Brod gebacken, wie in Westphalen der sogenannte Pumpernickel (cf. unten). Die verschiedenen Getreidearten weichen bis zu einem gewissen Grade in der Zusammensetzung von einander ab. 100 Theile trockenes Mehl enthalten:

	Weizen:	Roggen:	Gerste:	Hafer:
Eiweissstoffe	12—13 %	11—12 %	5—10 %	4—11 %
Stärkemehl (und Zucker)	73,5 -	71,9 -	73—83 -	68,5 -
Fett	1,2 -	1,6 -	2,0 -	2—6 -
Zellstoff		5 -	9,7 -	11,6 -

Zur ärztlichen Mehluntersuchung. — Um Roggenmehl auf Mutterkorn zu prüfen, überschüttet man etwas von dem Mehle in einer Glasröhre (Proberöhre) mit dem gleichen Volum Essigäther, fügt ein wenig Oxalsäure hinzu und erhitzt vorsichtig einige Minuten lang zum Kochen. Wenn Mutterkorn im Mehl vorhanden war, so erscheint nach dem Erkalten die über dem Mehl stehende Flüssigkeit mehr oder weniger röthlich gefärbt (Böttger). —

Mehlsorten. — Die Praxis hat seit lange neben Reis und Mais auch Hirse und den **Buchweizen** zu den Getreidefrüchten gezogen. Die chemische Analyse bestätigt dieses vollkommen, da sie besonders eine fast absolute Uebereinstimmung des Buchweizens mit dem Roggen bemerkt, die vor Allem auch in der Asche sehr deutlich sich herausstellt.

	Buchweizen:	Mais:	Reis:	Hirse:
Eiweissstoffe .	3— 9 %	11,5 %	5,8—7,5 %	14,5 %
Kohlehydrate .	55—76 -	67,6 -	80 -	66,5 -
Fett	1—1,5 -	6—7 -	—	3 -

Die Hülsenfrüchte stehen in ihrer Zusammensetzung den Getreidearten sehr nahe; sie enthalten auch Lecithin und Cholesterin. Es überwiegt bei ihnen der Gehalt an Eiweissstoffen ziemlich bedeutend. Diese wurden mit dem Namen (cf. S. 64) Legumin oder nach Liebig Pflanzencasein bezeichnet. Es rührt dieser Name daher, dass sie sich in gewissem Sinne dem Casein der Milch analog verhalten. Wenn man Erbsen, Bohnen oder Linsen, welche einige Zeit in lauem Wasser gequollen waren, zu einem Brei zerreibt und diesen durchseiht, so bildet sich in der abgeseihten Flüssigkeit, die schon dem Aussehen nach eine Aehnlichkeit mit Milch besitzt, ein starker Bodensatz, der aus Stärkemehl besteht; das Pflanzencasein bleibt gelöst. Die Auflösung ist trübe und nimmt leicht von selbst durch Milchsäurebildung wie die Milch eine saure Reaktion an, die rasch zunimmt und das Caseïn gerinnen macht, so dass sich dieses nach etwa 24 Stunden ausgeschieden hat; die Flüssigkeit gesteht dann zu einer zarten, gallertigen Masse. Man kann die Flüssigkeit ebenso wie die Milch durch Sieden vor dem Gerinnen schützen, wobei gerade wie dort eine Haut auf der Oberfläche entsteht — **Pflanzenkäse.** — Die Chinesen bereiten auf die angegebene Weise aus Erbsen einen wirklichen Käse, den sie Toa-foo nennen, und den man häufig auf den Strassen von Canton verkaufen sieht. Er enthält natürlich auch noch Stärke neben dem Pflanzencasein, ist aber sonst ebenso gesalzen und zubereitet wie Käse. — Zucker, der in allen Getreidearten sich findet, kommt bei den Leguminosen mit Ausnahme der Zuckererbse nicht vor. Dagegen findet sich in ihnen wie im Getreide Gummi, Schleim und Fett, jener wachsartige Körper, der sich fast aus allen Pflanzentheilen gewinnen lässt. — Es enthalten 100 Theile trockene Substanz:

	Erbsen:	Linsen:	Bohnen:	Saubohnen:
Eiweissstoffe . .	22 %	26—29,7 %	22,6—24,5 %	25 %
Stärkemehl . .	59 -	54 -	55,8 -	56 -
Fett	2,5 -	2 -	0,7—2 -	1,3 -

Die Ausnutzbarkeit des Leguminoseneiweisses wird sehr beträchtlich dadurch gesteigert, dass die Leguminosen als feines Mehl genossen werden. Dann bleiben nach STRÜMPELL nur 8% unausgenutzt im Darm, während das Eiweiss der mit den Hülsen, ganz gekochten Linsen bis zu 40% im Koth abgeht. Das Linsenmehl, überhaupt das Leguminosenmehl gehört also zu den verdaulichsten Nahrungsstoffen. (cf. unten Krankenkost.

Die Asche der Hülsenfrüchte zeigt einen geringeren Phosphorsäuregehalt, aber eine bedeutendere Menge von Schwefelsäure als die Getreideasche und reichlich Chlornatrium 4%. — Hier lassen sich die **echten Kastanien** anschliessen, die verhältnissmässig noch eiweissreich sind, wenigstens reicher als die Kartoffeln; sie enthalten in 100 Theilen:

Wasser . .	53,71
Albuminate .	4,46
Kohlehydrate	39,44
Fette . . .	0,87
Salze . . .	1,52.

Die **Kartoffel** unterscheidet sich von den bisher genannten Früchten nicht wesentlich, nur besitzt sie einen weit höheren Wassergehalt als diese, wodurch ihr Nahrungswerth für das gleiche Gewicht bedeutend herabgesetzt wird. Während der Wassergehalt der bisher genannten Samen etwa 14% beträgt, und nach den besten Untersuchungen von 9% bis höchstens 19% schwankt, stellt sich der Wassergehalt der Kartoffel zwischen 70—81%, so dass sie demnach nur zwischen 19—30% feste Theile enthält. In den Zellen, aus welchen die Knolle der Kartoffel besteht, finden sich an den Wänden Stärkemehlkörnchen abgelagert: übrigens sind sie mit Flüssigkeit gefüllt, in welcher die stickstoffhaltigen Bestandtheile gelöst sind: Eiweiss und eine Spur $^1/_{1000}$ eines nichtgiftigen krystallisirbaren Stoffes, der nach seinem Vorkommen im Spargel den Namen Asparagin erhält. Der Saft der frischen Kartoffel ist sauer von Phosphorsäure, Salzsäure und Apfelsäure. Schwefelsäure fehlt in ihm. Die Zellenhüllen unterscheiden sich von der Zellensubstanz — Holzfaser — der meisten übrigen Pflanzen dadurch, dass sie durch Kochen gallertig werden und durch verdünnte Säuren in Zucker und Gummi übergehen, so dass sie also mit zur Ernährung beitragen können. In den Keimen der Kartoffel entwickelt sich eine giftige organische Basis, das nicht krystallisirbare Solanin, welches in ungekeimten Kartoffeln nicht gefunden wird. Wenn Kartoffeln frieren, so zeigen sie sich nach dem Aufthauen zuckerreicher, süsser. Man muss die gefrorenen Kartoffeln, die ohne allen Schaden gegessen werden können, so lange sie nicht gefault sind, dadurch vor dem Welken und der Fäulniss schützen, dass man sie gefroren erhält, wenn man sie nicht sogleich verwenden kann. Der Frost zerstört die normale Structur der Zellhüllen. Das Welkwerden kommt von einer rasch eintretenden Wasserverdunstung durch die Zellhüllen, die ihre Lebenseigenschaft: Wasser zurückzuhalten, verloren haben. Der Stärkegehalt der Kartoffeln schwankt zwischen 16% und 23% der frischen Kartoffel. Der Eiweissgehalt beträgt etwa 2,5%. Auf trockene Substanz berechnet ergibt sich der Eiweissgehalt circa zu 8%, der Stärkegehalt zu 70,8%. In der Kartoffelasche wiegen die Alkalien vor: 60% Kali, dagegen tritt die Phosphorsäure zurück: 13%. Die Asche enthält Schwefelsäure 8%; da sie in dem Safte fehlt, so muss sie sich erst bei dem Verbrennen namentlich des Eiweisses der Kartoffel bilden. In 100 Theilen Kartoffelasche sind nach WAY:

Kali	46,96
Chlorkalium .	8,11
Chlornatrium .	2,41
Magnesia . .	13,58
Kalk . . .	3,35
Phosphorsäure	11,91
Schwefelsäure	6,50
Kieselerde . .	7,17.

Die **Olive**, die Frucht des Oelbaums (Olea europaea), ist namentlich für die Gegenden, in welchen sie gedeiht, eine der wichtigsten Nahrungsfrüchte. Das Olivenöl wird durch

Pressen aus dem fleischigen Theil der Frucht genommen. Das kalt gepresste ist das Proveneeröl, das warm gepresste Baumöl ist blassgelb, durch Auskochen der Oelkuchen mit Wasser erhält man das grüne Baumöl (Malagaöl). Erdnussöl und Rapsöl dienen z. Th. als Ersatz für das Baumöl auch zum Genuss; wichtiger in diesem Sinne ist das Leinöl, welches vielfach als Ersatz für Butter verwendet wird, auch die Cacaobutter muss hier erwähnt werden.

Hygieinische Betrachtungen. — Bei der Zubereitung der Feldfrüchte zum Genuss für den Menschen will man entweder die ganze Frucht, wie sie die Natur darbietet, verwenden, oder nur einzelne Nahrungsbestandtheile derselben gewinnen. Im letzteren Sinne haben wir jene Käsebereitung aus Hülsenfrüchten schon besprochen. Hierher gehört auch die Stärkemehlgewinnung aus den Kartoffeln und Getreidesamen, ebenso die Bierbrauerei und Branntweinbrennerei, bei welchen das Stärkemehl zuerst in Zucker und dieser dann in Alkohol umgewandelt wird. Der Rückstand, welcher von der Alkoholbereitung in beiden Fällen bleibt, hat noch einen hohen Nahrungswerth. Es enthalten die Schlempe und die Trebern noch fast alle Eiweisskörper und einen Theil der stickstofflosen Bestandtheile, wodurch sie als Viehfutter einen hohen Werth behaupten.

Brod. — Bei der Bereitung des Mehles zum Brode wird das Mehl in eine chemische und physikalische Beschaffenheit übergeführt, in der es sowohl von den Kauwerkzeugen gehörig bearbeitet als auch von den Verdauungssäften leicht verändert werden kann. Die rohe Stärke ist an sich für den menschlichen Organismus kaum in grösseren Quantitäten verdaulich. Sie wird es aber durch die gleichzeitige Einwirkung von Hitze und Feuchtigkeit, welche sie in den gequollenen Zustand überführt. Während diese beiden Agentien auf die Stärke einwirken, bleiben sie auch nicht ohne Einfluss auf die Eiweissstoffe des Mehles. Diese fangen an sich theilweise zu zersetzen, ebenso unter der Einwirkung von Fermenten der Zucker, welcher schon anfänglich in den Getreidesamen vorhanden ist und sich im Mehle noch weiter erzeugt, wo er unter Umständen 3—4 Procent betragen kann. Während also die Stärke löslich wird, geht gleichzeitig ein Process der Alkoholgährung und Kohlensäureentwickelung in dem Teige vor sich. Bei dem Backen des Brodes wird diese Alkoholgährung, welche schon an und für sich im Teige, aber nur langsam erfolgt, durch künstliche Gährungsmittel, welche man möglichst gleichmässig dem Teige zumischt, in höherem Maasse und gleichzeitig im ganzen Brode angeregt. Es wird dem Teige zu diesem Zwecke entweder Hefe oder Sauerteig zugesetzt; letzterer ist ein Stück Teig, welches, längere Zeit aufbewahrt, in starke Gährung übergegangen ist. Als Sauerteig — er hat seinen Namen davon, dass die Gährung nicht bei der Alkoholbildung stehen bleibt, sondern bald auch saure Produkte (Milchsäure) erzeugt — wird von der letzten Brodbereitung immer ein Theil des Brodteiges aufgehoben. Da auf dem Lande zwischen dem Backen eine längere Zeit verläuft, wird er natürlich stärker sauer und gibt dadurch Veranlassung zu der gewöhnlich sauren Beschaffenheit des Landbrodes. Die Gasentwickelung bei der Gährung, welche man vor dem eigentlichen Backen meist in einem gewärmten Raume erfolgen lässt — Gehen des Teiges — hat vor Allem den mechanischen Zweck der Auflockerung. Der Brodteig wird so zäh gemacht, dass die sich entwickelnden Gasblasen in ihm nicht wie in einer Flüssigkeit an die Oberfläche steigen können; sie bleiben an dem Ort ihrer Entstehung und dehnen sich hier bei Steigerung der Hitze aus. Daher erlangt das gute Brod seine lockere Beschaffenheit, die es vor dem nicht gelungenen, speckigen als ein weit besser verdauliches Nahrungsmittel auszeichnet. Bei dem schwarzen oder Roggenbrode wird dem Mehle nur noch Wasser und Kochsalz zugesetzt neben dem Stückchen alten Mehlteig, der die Gährungserregung übernimmt. Bei dem Weissbrode, aus Weizenmehl bestehend, wird die Gährung oft durch Hefe hervorgerufen. Nur den Kunstbackwerken werden noch Milch, Butter oder Eier zugesetzt, wodurch natürlich ihr Nahrungswerth sehr gesteigert werden kann. Sie spielen aber im Verhältniss zu den besprochenen Volksnahrungsmitteln: Schwarzbrod in Deutschland und Russland, Weissbrod in England und Frankreich, eine nur verschwindende Rolle. Bei dem Backen wird das

Brod durch eine harte Kruste vor dem allzustarken Verdunsten des Wassers geschützt. Diese Kruste, welche die Einwirkung der Hitze im höchsten Maasse erfahren hat, ist zum Theil durch Röstung zersetzt, ein Theil ist in Stärkegummi, andere Theile noch weiter verändert. Die gebildeten Zersetzungsprodukte gehören wesentlich zum Wohlgeschmack des Brodes. Auch die Zuckerbildung geht während des Backens im Brode noch fort, so dass z. B. die gebackenen Semmeln mehr Zucker enthalten als der ungebackene Teig, da die in heissem Wasser gequollene Stärke beim Erhitzen sich in Stärkegummi und Zucker verwandelt, was durch verdünnte Säuren noch beschleunigt werden kann. Die verschiedene Verdaulichkeit der verschiedenen Brodsorten hängt zum weit überwiegenden Antheil von der Feinheit des zum Brodbacken verwendeten Mehles ab. Mayer verdaute von Weissbrod 94,4%, von saurem Schwarzbrod, Roggenbrod 90%, vom Pumpernickel, obwohl als Westfale an dessen Genuss von Jugend auf gewohnt, nur 80%. Der Pumpernickel besteht aus dem gröbsten Mehl.

Stärkemehl. — Es ist hier noch zu erwähnen, dass das Stärkemehl der verschiedensten Früchte in der elementaren Zusammensetzung identisch ist. Das Kartoffelstärkemehl (Fig. 60) unterscheidet sich chemisch, abgesehen von dem Quellungsvermögen, wodurch seine Verdaulichkeit wesentlich bedingt wird, nicht von dem Arrowroot (Pfeilwurzelstärkemehl), von der Sago-Stärke aus dem Marke der Palmen, oder von der Stärke des Isländischen Mooses. Die Gestalt der Stärkekörnchen zeigt, wie ihre Grösse, bei den verschiedenen Pflanzensorten Verschiedenheiten. Das Kartoffelstärkemehl des Handels ist meist eine sehr reine Substanz, welcher fast alle verunreinigenden Beimischungen fehlen: es enthält eine Spur von mineralischen Stoffen, besonders phosphorsaure Salze, Zucker, Dextrin und etwa 0,5 pro mille eines wachsartigen Pflanzenfettes.

Fig. 60.

Stärkekörner aus einer Kartoffelknolle (800). *A* ein älteres einfaches Korn; *B* ein halb zusammengesetztes Korn; *C*, *D* ganz zusammengesetzte Körner; *E* ein älteres Korn, dessen Kern sich getheilt hat; *a* ein sehr junges Korn, *b* ein älteres, *c* noch älter mit getheiltem Kern.

Zucker. — Ueber den Zucker als Nahrungsstoff bedarf es hier keiner weiteren Auseinandersetzungen mehr, da wir das Nöthige schon bei der Besprechung des Zellenchemismus beigebracht haben.

Wenigstens für Pflanzenfresser ist auch die **Cellulose**, Holzfaser, in ziemlichem Maasse verdaulich, wie Häubner u. v. A. fanden. Für den Menschen scheinen nur die zartesten Modifikationen (z. B. in den Kartoffeln) verdaulich zu sein.

Obst. — Der Zucker wird ausser als Gewürzstoff noch neben Stärkemehl auch in den Gemüsen und Obstsorten in ziemlicher Menge genossen. Der Nahrungsgehalt des Obstes besteht zum überwiegenden Theile aus Zucker, der gemischt mit verschiedenen organischen Säuren demselben den specifischen Geschmack ertheilt. Als Beispiel kann die Analyse der Pflaumen dienen: sie enthalten bei einem Wassergehalt von 71,1% 28,9% feste Stoffe, von denen 24,81% Zucker sind. 2,06% sind Gummi und 1,11% Cellulose. Die organischen Säuren machen etwa $\frac{1}{2}$, die Eiweissstoffe $\frac{1}{4}$ Procent aus. Ihre Salze sind die uns bekannten Blutsalze. Das Erquickende und Erfrischende des Genusses der meisten Früchte, sowie ihre günstigen Resultate auf die Ernährung namentlich der Kinder, muss dieser glück-

lichen Mischung der Bestandtheile der Früchte zugeschrieben werden; ein wesentlicher Theil fällt dabei auf die Säuren und Salze. Besonders enthalten Citronen in ihrem Safte sehr reichlich Kalisalze, die zur Organbildung unerlässlich sind. Hier reihen sich die zuckerreichen künstlichen Pflanzensäfte an.

Grüne Gemüse. — Die auch als Nahrungsmittel dienende Runkelrübe bietet darum noch weiteres Interesse dar, weil aus ihr der Rübenzucker bereitet wird, welcher den Colonialzucker bei uns fast vollkommen verdrängt.

Nach Horsford und Krocker enthält die Runkelrübe in 100 Theilen:

	frisch	trocken
Eiweissartige Körper	2,04	11,5
Zucker	12,16	68,8
Cellulose und die übrigen stickstofffreien Körper	2,56	14,7
Mineralische Substanzen	0,89	5,0
Wasser	82,25	—
	100,00	100,0

	Gelbe Rüben	Kohlrabi	Blumenkohl	Gurken
Wasser	85,31	80,00	81,89	97,14
Albuminate	1,55	2,00	0,50	0,13
Kohlehydrate	13,34	17,00	1,80	2,62
Extraktivstoffe	0,04	—	—	0,04
Fette	0,25	0,30	—	—
Salze	1,52	5,00!	0,76	—

Von der Asche sind 70—80 Procent auflöslich und bestehen aus kohlensaurem, schwefelsaurem, salzsaurem und phosphorsaurem Kali und Natron; Kali und Phosphorsäure überwiegen. Der im Wasser unlösliche Theil besteht aus kohlensaurem und phosphorsaurem Kalk und Bittererde, aus Eisenoxyd und Kieselerde.

Bei den grünen Pflanzen ist der Salzgehalt sehr bedeutend und wir sehen, dass die Bestandtheile desselben mit den Blutsalzen vollkommen übereinstimmen. Dadurch wird ihre hohe Bedeutung erklärlich, die sie besonders dann erhalten, wenn, wie auf langen Seereisen, das als Nahrung dienende Fleisch gesalzen ist, die Blutsalze ihm also entzogen sind. Die Heilung des z. Thl. aus dem Salzfleischgenuss resultirenden Krankheitszustandes: des Skorbutes, gelingt durch Zusatz von Gemüse zur Nahrung, dem man freilich nicht, wie es in deutschen Küchen so häufig geschieht, durch vorheriges Kochen und Wegschütten des Kochwassers den Hauptgehalt an Nahrungsstoffen — nämlich fast alle löslichen Bestandtheile: Salze, Zucker etc., entziehen darf. Wir entnehmen v. Gorup-Besanez folgende Tabelle über die Gemüseasche, in 100 Theilen Asche sind enthalten:

	gelbe Rübe	weisse Rübe	Weisskraut	Rosenkohl	Spargel	Gurken
Kali	37,55	48,56	48,32	17,05	22,85	47,42
Natron	12,63	—	—	—	2,27	—
Chlorkalium	—	—	9,33	8,63	—	4,19
Chlornatrium	4,91	4,44	—	—	7,97	9,06
Magnesia	3,78	2,26	3,74	15,09	6,84	4,26
Kalk	9,76	6,73	12,64	25,88	15,91	6,31
Eisenoxyd	0,74	0,66	—	2,86	5,11	1,09
Phosphorsäure	8,37	7,65	15,99	23,91	18,32	15,94
Schwefelsäure	6,34	12,86	8,30	—	7,32	4,60
Kieselerde	0,76	0,96	0,40	6,58	12,53	7,12
Kohlensäure	15,15	14,82	—	—	—	—

Weitere Angaben über die Zusammensetzung der Nahrungsmittel finden sich zu Ende des Cap. V.

Die Konservirungsmethoden des frischen Gemuses in hermetisch verschlossenen Blechbuchsen gewinnt fur die oben angefuhrten Falle eine hohe Gesundheits-Bedeutung. — *Pflanzensafte* finden *als Heilnahrungsmittel* passend Verwendung.

Der Mensch isst alle die genannten Nahrungstoffe und Nahrungsmittel nicht einzeln, sondern zu **Gerichten** gemischt. »Geleitet durch den beinahe zum Bewusstsein gelangten Instinkt, den wegekundigen Fuhrer, und durch den Geschmack, den Wächter der Gesundheit, ist der erfahrene Koch in Beziehung auf die Wahl, Zusammenstellung und Zubereitung der Speisen und ihrer Aufeinanderfolge zu Errungenschaften gelangt, welche Alles ubertreffen, was Chemie und Physiologie in Beziehung auf die Ernährungslehre geleistet haben. In der Suppe und den Fleischsaucen ahmt er den Magensaft nach, und in dem Kase, womit er die Mahlzeit schliesst, unterstutzt er die Wirkung des auflosenden Magenepitheliums. Die mit Speisen besetzte Tafel erscheint dem Beobachter gleich einer Maschine, deren Theile harmonisch zusammengefugt und so geordnet sind, dass damit, wenn sie in Thätigkeit gesetzt sind, ein Maximum von Wirkung hervorgebracht werden könnte« (LIEBIG).

Freiwillige Veränderungen der vegetabilischen Nahrungsmittel. — Wie alle feuchten organischen Stoffe unterliegen auch die vegetabilischen Nahrungsmittel der Einwirkung des Luftsauerstoffs und der Gährungs- und Fäulnisserreger, was besonders bei den wasser-, eiweiss- und zuckerreichen Vertretern derselben, wie Fruchtsäften, bald zu wesentlichen Veränderungen führt: Alkohol- und Essigsäuregährungen treten ein, die sich leicht dem Geschmack verrathen. Bei den Früchten geht einige Zeit noch der Vorgang des »Nachreifens« fort, die Pflanzensäuren verschwinden und es treten reichlicher Zucker und Stärkemehl auf. Verletzt verwesen und faulen sie. Ueber die Veränderungen der Kartoffeln durch Keimen und Frieren wurde schon oben das Nöthige beigebracht. Das Frieren bringt bei Früchten und Gemüsen die gleiche Wirkung wie bei den Kartoffeln hervor, nach dem Aufthauen welken und faulen sie rasch aus den angegebenen Gründen. Das feuchte Brod erleidet analoge Veränderungen wie die anderen vegetabilischen Stoffe; es bilden sich oft rasch reiche Pilzvegetationen (Schimmel), meist aber schützt das Brod Vertrocknung vor weitergehender Zerstörung.

Schädliche Wirkungen bringen diese freiwilligen Veränderungen meist nur in untergeordnetem Grade hervor, im Allgemeinen hat man sich vor allem Verdorbenen zu hüten. In *faulendem Mais* entsteht ein Gift, welches bei subcutaner Injection auf Frösche und Kaninchen tödtlich wirken kann (HUSEMANN). Die Schädlichkeit des unreifen Obstes ist in ihren Ursachen und Wirkungen allgemein bekannt, überhaupt zeigt sich das Uebermaass des Genusses auch von reifem Obst wie alles Uebermaass schädlich, wie die Erfahrungen der Militärärzte aus dem deutsch-französischen Kriege (1870 bis 1871) über den Genuss auch gereifter Trauben beweisen, während bekanntlich reichlicher Traubengenuss als *Traubenkur* vielfach sich schon hygieinisch bewährt hat. Dass bei alleinigem Genuss von Früchten die Allgemein-Ernährung nothleiden muss, geht aus der relativ geringen Menge von Albuminaten und Kohlehydraten hervor, welche wir durch eine anscheinend beträchtliche und den Magen füllende Quantität einführen. Sie bestehen ja der Hauptmasse nach aus Wasser. Der Genuss der Leguminosen, sauren, schwarzen Brodes, überhaupt reichlicher trockener Pflanzenstoffe ruft eine reichliche *Entwickelung von Darmgasen* hervor. Feinstes *Leguminosenmehl* zeigt aber diese Wirkung nicht. Man schreibt vegetabilischen Stoffen *specifische Wirkungen* auf gewisse Organe zu. Der reichliche Salzgehalt wird bei Früchten etc. die Harnausscheidung steigern können, einige der aufgenommenen organischen Stoffe gehen in den Harn über (cf. abnorme Harnbestandtheile). Nach dem Genuss von organischen Substanzen, die reich an oxalsauren Salzen sind (z. B. Sauerampher), wird Oxalsäure als oxalsaurer Kalk im Harn ausgeschieden, was zur Bildung von Harnkonkrementen Veranlassung geben könnte. Die organischen Nährsubstanzen, die scharfe ätherische Oele enthalten, sollen den *Geschlechtstrieb* anregen. Man hat dafür den Spargel, Schnittlauch, Sellerie etc. wohl in fälschlichem Verdacht.

Zur Untersuchung chemischer Art (über Mutterkorn cf. oben S. 180) findet hier der

Arzt selten Veranlassung. Der Unterschied der verschiedenen Stärkesorten wird mit dem Mikroskop erkannt. Gut ausgekochte Kartoffelstärke ist, wie die LIEBIG'sche Kindersuppe lehrt (cf. diese), für Kinder und Leute mit schwacher Verdauung vollkommen zuträglich. Der Vorzug der anderen Stärkesorten beruht vor Allem in der Leichtigkeit, mit der sie bei der kulinarischen Zubereitung die für ihre Benutzung als Nahrungsmittel nöthigen Veränderungen erfahren, worauf ihre Verdaulichkeit beruht.

Die Beimischungen metallischer Stoffe zu den Nahrungsmitteln sind zum Theil der Gesundheit schädlich. Die metallischen Stoffe, die hier in Frage kommen, sind: Blei, Kupfer, Zink, Zinn, Eisen. Das letztere ist in seinen Verbindungen sehr unschädlich, ebenso das Zinn, während die Einverleibung der drei ersteren deutlich mit nachtheiligen Folgen für die Gesundheit verknüpft sind. Besonders durch **Kochgeschirre** werden die Metalle verschleppt. Die Glasur irdener Geschirre ist bleihaltig und konnte, wenn sie schlecht aufgebrannt ist und absplittert oder sich chemisch ablöst, Veranlassung zu Bleierkrankungen geben. Die Zinngeschirre sind meist ebenfalls mit Blei legirt und können durch Aufbewahren saurer Substanzen in ihnen diesen einen Gehalt an Blei mittheilen. Zinkgeschirre kommen seltener im Gebrauch vor, es ist bei Milch und Wasser schon auf die daraus entspringenden Gefahren aufmerksam gemacht worden. Doch steht das Zink mit Kupfer legirt als Messing in vielfältigem Gebrauch, ebenso Geschirre aus reinem Kupfer. Alle sauren Flüssigkeiten, z. B. Fruchtsäfte, lösen das Kupfer und Zink in ziemlicher Menge auf und geben dadurch Veranlassung zur Einführung dieser Metalle in den Organismus, mit allen daraus entspringenden schädlichen Folgen.

Von den angeführten metallischen Giften ist den Aerzten das **Blei** am bekanntesten, da seine specifischen Einwirkungen, Bleikolik und Bleilähmung, sich bei Individuen, die viel mit Blei in Bleifabriken oder mit Bleifarben (Maler, Anstreicher und Farbenbereiter) oder Bleiglasuren (Töpfer) zu thun haben, sich häufig zeigen und so charakteristisch sind, dass sie kaum verkannt werden können. Doch sind in der letzten Zeit manche Fälle bekannt geworden, welche zeigen, wie häufig auch bei anderen als den genannten besonders ausgesetzten Beschäftigungen Bleivergiftung die Ursache chronischer Erkrankungen sein kann. Anfänglich machen sich die Symptome der Beivergiftung nicht geltend, erst wenn durch das Gift selbst oder durch andere Ursachen eine Functionsbehinderung der Nieren auftritt, so dass die Ausscheidung des Bleies durch den Harn sistirt wird, sehen wir ernstere Fälle auftreten. In derartigen Nierenstörungen scheint (TRAUBE) öfters der Grund für das Auftreten bedrohlicher Symptome zu liegen, die sonst sich nicht geltend machen, der Arzt wird darum mit starkwirkenden Arzneimitteln bei solchen Patienten mit Nierenleiden besonders vorsichtig sein müssen. Um einige Beispiele anzuführen, so hat man beobachtet, dass unabsichtliche Bleivergiftung eintrat nach Gebrauch von in Staniol (bleihaltig) verpacktem Schnupftabak österreichischen Fabrikats, sogenanntem Albanier. Die Rosshaare werden mit Blei gefärbt, was, sowie die Verarbeitung solcher schlechtgefärbter Fabrikate, Veranlassung zur Vergiftung gegeben hat (HITZIG). ARCHAMBAULT macht darauf aufmerksam, dass Bleiintoxikationen bei Arbeiterinnen beobachtet werden durch das Sieben eines Pulvers von Bleisilikat, wie es als isolirender Ueberzug eiserner Haken bei der Telegraphie benutzt wird. GEORGE JOHNSON beobachtete Bleivergiftung bei einem Manne, der zur Verfertigung von Mantelsäcken ein schwarzes, stark bleihaltiges Glanztuch verwendete. In grösserem Maassstabe kommen Intoxikationen vor, wenn Blei in grösserer Quantität Nahrungsmitteln beigemischt wird. Der Zusatz von Schrot zu Wein macht diesen zwar süsser (Bleizucker), aber durch Blei und Arsenik giftig, auch das Reinigen der Weinflaschen mit Schrot giebt dem Wein einen Gehalt an diesem giftigen Stoffe. Eine sehr belehrende Beobachtung machten in Beziehung auf Bleivergiftung MAUNOURY und SALMAN. In mehreren Dörfern der Umgegend von Chartres verbreitete sich im October 1861 bis zum März 1862 sehr schnell eine Krankheit mit allen Symptomen der Bleivergiftung, die in 6 Gemeinden über 300 Personen ergriff, ohne dass sie sich wieder dauernd zu erholen vermochten, 15—20 starben. Nur Säuglinge blieben verschont. Nachfrage von Haus zu Haus ergab, dass alle erkrankten Familien ihr Brodmehl aus derselben Mühle be-

zogen, deren Mühlsteine als Vergiftungsursache sich herausstellten. An den mahlenden Flächen der Mühlsteine befinden sich je nach ihrer Qualität mehr oder weniger zahlreiche, grössere oder kleinere grubige Vertiefungen, welche zur Benutzung der Steine ausgefüllt werden müssen. Der Müller hatte zur Ausfüllung metallisches Blei benutzt, welches durch die Bewegung der Steine abgerieben dem Mehl sich beimengte, so dass das Mehl Blei im metallischen Zustand und als kohlensaures und essigsaures Salz enthielt und zwar 10 Milligramm Blei im Kilogramm Mehl. Nach Beseitigung des Bleies in der Mühle erlosch die Krankheit. In dieser Weise wurden in der Folge noch einige Bleivergiftungsepidemien von Mühlen ausgehend in Frankreich beobachtet, ältere unerkannte Epidemien liessen sich auf diese Ursache zurückführen. Didierjean, Besitzer einer Mennigefabrik, machte die Beobachtung, dass reichlicher Milchgenuss (1 Liter pro Tag), zu dem er seine Arbeiter nach zufälliger Bemerkung ihrer günstigen Wirkung verpflichtete, als ein probates Präservativ gegen Bleivergiftung wirke.

Für das Kupfer wird eine giftige Wirkung in kleiner Dosis von erfahrenen Aertzten behauptet, andere bezweifeln sie. Man behauptet sogar Immunität der Kupferarbeiter gegen Cholera, der Grünspanarbeiterinnen gegen Chlorose. Gewiss ist es, das Grünspan (essigsaures Kupfer) in bestimmter Dosis als Gift angesehen werden muss, die Höhe der Dosis lässt sich jedoch wegen des stets eintretenden Erbrechens kaum sicher feststellen. Abgesehen von örtlich irritirenden Wirkungen auf Augen und Kehlkopfschleimhaut sollen nach G. Pécholier und C. Saintpierre die Arbeiter in den Grünspanfabriken der Departements de l'Hérault und de l'Aude keinerlei Beschwerden zeigen, so dass nach ihnen die tägliche langsame Absorption keinen Schaden bringen soll. Mit den gebrauchten stark kupferhaltigen Weintreberresten werden Kaninchen und Geflügel gemästet. Blasius, Ulex u. v. A. behaupteten, dass Kupfer ein normaler Organbestandtheil der Pflanzen und Thiere sei, Lossen zeigte aber, wie misstrauisch man gegen solche Angaben sein muss, wenn nicht kupferhaltige Apparate: Löthrohr, Gasbrenner bei der Untersuchung vermieden wurden. Englische Aerzte, z. B. Clapton, behaupten chronische Intoxikation nach fortgesetztem Genuss kupferhaltiger Getränke (die sauer in Kupfer gestanden hatten), dann bei Kupferschmieden und durch Kupferfarben. Der Schweiss werde dabei bläulich grün (?). Zur Färbung von Mixtpickels und Spinat wird eine Kupfermünze mit gekocht. Der grüne Thee ist oft durch Grünspan gefärbt. Bergeron und L. l'Hôte fanden, dass der Körper des Menschen regelmässig einen durch die Nahrung eingeführten Kupfergehalt zeige, derselbe nimmt mit dem Alter zu. Während sie die Kupfermenge in der Jugend zwar qualitativ, aber nicht quantitativ bestimmen konnten, fanden sie für das mittlere Alter 0,7—1,0, im höheren Alter 1,5 mgm.

Der Bleinachweis wird bei schlechter bleihaltiger Glasur, welche an Säuren Blei abgibt, dadurch geführt, dass man in das zu prüfende Geschirr guten Essig giesst (von etwa 5% wasserfreier Essigsäure). Nach 24 Stunden wird der Essig, der den Boden des Gefässes 1—2 Zoll zu bedecken hat, abgegossen, das Geschirr dann noch zum zweiten- und drittenmal mit Essig in derselben Weise gefüllt. Jede Portion wird dann dadurch auf Blei geprüft, dass man »Schwefelwasserstoffwasser« zumischt, wobei eine starke schwarze Trübung nebst schwarzem flockigen Niederschlag von »Schwefelblei« die Gegenwart des Bleies anzeigt. Dieser schwarze Niederschlag ist in der ersten Essigportion am stärksten, in der dritten meist schon so schwach, dass nur noch eine bräunliche Färbung und Trübung zu bemerken ist. Durch mehrmaliges Auskochen der neuen Geschirre mit Essig (der dann weggeschüttet wird), ist daher alle Gefahr der Bleiabgabe der Geschirre auch an saure Speisen aufgehoben. Die Geschirre sind vollkommen gut gebrannten'gleich. Essig, Sauerkraut, Pflanzensäuren anderer Art, überhaupt saure Speisen können aus schlechten Glasuren eine Beimischung von Blei erhalten, aber Milch, Kaffee, Fleischbrühe, Suppen ziehen kein Blei aus (L. A. Buchner). Auch wenn Säuren in bleihaltigen Gefässen gekocht werden, so wird bei gleichzeitiger Anwesenheit von Eiweissstoffen, z. B. Fleisch, das Blei an Albuminate zu unlöslichen Verbindungen gebunden, welche ohne weitere Veränderungen durch den Körper hindurchgehen (Buchner) und keine Veranlassung zu Vergiftungen geben. Daraus würde sich die Thatsache erklären, dass von

Seiten der Aerzte keine durch Bleiglasur herbeigeführte Bleikrankheit berichtet wird, wie auch selbst Tanquerel des Planches in seinem Werk über Bleikrankheiten deutsch Quedlinburg 1842 unter 2165 Beobachtungen keine Erkrankungen in Folge von Bleiglasur anführt. Besonders für die Ernährung kleiner Kinder hat man sich jedoch nur gut gebrannter Geschirre, die vorher dreimal mit Essig ausgekocht wurden, zu bedienen. Für Erwachsene besteht keine ernstliche Gefahr, da nach Tardieu erst 480—960 Gran (30—60 Gramm) einen Erwachsenen tödten, während z. B. Buchner in 1/10 Liter Essig aus schlecht glasirten Geschirren nur 0,07 — 0,2 Gramm Blei fand.

Die Genussmittel.

Hygieinische und physiologische Betrachtungen. — Ausser den eigentlichen Nahrungsmitteln werden vom Menschen noch eine Reihe von Substanzen und Stoffen aufgenommen, deren Werth für den Organersatz und die Kraftproduktion des Organismus nicht so direct in die Augen fällt, wie bei den bisher genannten. Nicht ganz mit Recht, weil keine scharfe, principielle Scheidung möglich ist, hat man die betreffenden Stoffe: Kaffee, Thee, Chocolade, Tabak, Spirituosen als Genussmittel (v. Bibra) von den eigentlichen Nahrungsmitteln getrennt.

Der Preis eines zur Ernährung verwendeten Stoffes steht in genauem Verhältnisse zu dem Nahrungswerth desselben. Was dem einzelnen Konsumenten unbekannt sein mag, das regelt die Erfahrung der Gesammtheit in überraschend richtiger Weise (Liebig).

Wenn wir den Genussmitteln einen eigentlichen Werth als Nahrungsmittel, wie es meist geschieht, absprechen, so ist es verwunderlich, dass ein so hoher Preis für sie nicht etwa nur von den Reichen, sondern auch von den Armen bezahlt wird. Der geringste Tagelohn wird ja wenigstens in zwei Theile gespalten, von denen der eine zu Kartoffeln, der andere zu Kaffee verwendet wird, und gerade den Armen sehen wir mit besonderer Vorliebe neben seiner spärlichen, den täglichen Verbrauch an Kräften nicht oder kaum ersetzenden Nahrung Genussmittel, wenigstens Kaffee oder Branntwein, geniessen.

Es wäre falsch, wenn wir annehmen würden, dass der Genuss derselben, der mit verhältnissmässig so grossen Opfern für den Armen verknüpft ist, allein auf dem Wunsche, etwas Angenehmes zu essen, beruhte. Die Armuth hat, auf tausendjährige Erfahrungen gestützt, die wohlfeilste Ernährung gelernt, mit Hülfe deren bei dem geringsten Aufwande an Nahrungsmaterial die höchste Kraftproduktion möglich ist. Daraus schon geht hervor, dass die Genussmittel für das Wohlbefinden und die Arbeitsfähigkeit des Individuums von grosser Bedeutung sind.

Wenn wir sie chemisch und physiologisch untersuchen, so finden wir in ihnen eine in die Augen springende Uebereinstimmung. Sie enthalten alle mehr oder weniger physiologische Nervenreize, welche ein aus Arbeit hervorgegangenes Schwächegefühl der Nerven und Muskeln zu vertreiben geeignet sind.

Wir haben in der Fleischbrühe, dem Fleischextrakte ein derartiges Erregungsmittel erkannt. Der Arme, welcher kein Fleisch als tägliche Nahrung zu bestreiten vermag, hilft sich mit jenen Genussmitteln, welche in überraschender Weise in ihren physiologischen Wirkungen den Fleischextrakt zu ersetzen vermögen.

So sehen wir Bevölkerungen bei einer Nahrung der Hauptmasse nach aus Kartoffeln, welche an sich kaum zum Wiederersatz des Stoffverbrauches durch Arbeit genügen würde, durch Kaffeezusatz sich arbeitsfähig erhalten.

Das Hunger- und Schwächegefühl durch unzureichende Nahrung wird z. Thl. durch den Branntweingenuss vertrieben, so dass die Arbeit fortgesetzt zu werden vermag, welche sonst das Gefühl der Ermüdung unterbrechen würde.

In dem thierischen und menschlichen Organismus ist eine bedeutende, zur Arbeit zersetzbare Stoffmenge aufgespeichert. Die Natur hat den Verbrauch dieser Stoffe nur bis zu einem gewissen, geringen Grade der Willkür des Menschen anheimgegeben. Lange ehe die Zersetzung einen höheren Grad erreicht hat, treten durch den veränderten Chemismus der Bewegungsorgane Hemmungen der Bewegungsmöglichkeit ein, die sich subjectiv als Ermüdung: zuerst Unlust, dann Unfähigkeit zur Arbeitsleistung zu erkennen geben. Dieses Ermüdungsgefühl wird durch die Genussmittel in seinen Anfängen beseitigt, so dass die Arbeit, verbunden mit Stoffverbrauch, fortgesetzt werden kann über die von der Natur gezogene Grenze hinaus, jenseits deren sie Erholung durch Ruhe und Wiederersatz des verbrauchten Körperstoffes durch Nahrung verlangt. Die Genussmittel haben danach auch einen Werth für die Konsumenten, der sich in Geld, dem Mehrverdienst, ermöglicht durch Beseitigung des Ermüdungsgefühles, ausdrücken lässt. In neuester Zeit hat man darauf aufmerksam gemacht (J. Ranke), dass unter der Einwirkung der Genussmittel, namentlich des Kaffee's (Kaffeïns), eine Veränderung der Blutvertheilung im Organismus eintritt, die den zur mechanischen Arbeit erforderlichen Organen, Muskeln und Nerven mehr Blut und damit mehr zur Krafterzeugung dienliches Material zuführt, so dass bei relativ gesteigerter Ernährung der Arbeitsorgane die Arbeitsfähigkeit zunehmen muss. Durch gesteigerte Circulation in den Arbeitsorganen werden auch die »ermüdenden Stoffe«, welche die Arbeitsfähigkeit herabsetzen und endlich vernichten, rascher entfernt und auch dadurch die Arbeitsfähigkeit gesteigert (J. Ranke).

An sich haben sonach diese Stoffe, abgesehen von Nebenwirkungen, bei mässigem Genusse nichts Schädliches. Sie werden erst dadurch schädlich und gefahrvoll, wenn der durch sie ermöglichte gesteigerte Kräfte- und Stoffverbrauch nicht durch entsprechende Nahrungssteigerung wieder ersetzt wird. Dem Armen, der seine Arbeitsfähigkeit durch Branntwein steigert, ohne den dadurch gesetzten Verlust wieder ausgleichen zu können, wird das Genussmittel zu Gifte. Es erlaubt ihm längere Zeit von seinem Kraftvorrath, gleichsam vom Capitale selbst zu zehren, während die Natur ihn normaler Weise nur auf den Zinsengenuss desselben beschränkt halten will (Liebig), nämlich auf den Verbrauch des kleinen Stoffantheiles, dessen Zersetzung hinreicht, die Chemie des Muskels soweit zu verändern, dass er objectiv ermüdet. Ein solcher Mensch ist in Wahrheit ein Hungernder. Die Abmagerung und Kraftlosigkeit, welche letztere nur durch fortgesetzten Branntweingenuss momentan gehoben werden kann, jene unbehagliche, leidenschaftliche Stimmung, welche jede Staatsverwaltung als einen festen Faktor in ihre politischen Berechnungen einzuführen hat, sind Symptome des Hungers.

Die chemische Zusammensetzung der verschiedenen Ge-

nussmittel zeigt eine gewisse Uebereinstimmung. Sie lassen sich nach zwei Gruppen ordnen.

Die erste Gruppe ist diejenige, welche, der Fleischbrühe analog (S. 174), abgesehen von den Nährsalzen, stickstoffhaltige organische Basen enthält, welchen die Hauptwirkung zugeschrieben werden muss. Es gehören hierher die warmen Volksgetränke, in Deutschland der Kaffee, in England der Thee. Sie enthalten den gleichen wirksamen Stoff, das Theïn oder Kaffeïn. Die Cacaobohnen den sehr nahe verwandten Körper: das Theobromin.

Nach ihren Eigenschaften gehören diese Stoffe zu der Classe der organischen Basen, welche einen grösseren oder geringeren Einfluss auf das Nervensystem, die Muskeln und die Bluteirculation ausüben. Nach ihren Wirkungen in eine Reihe geordnet, welche mit den organischen Basen der Fleischbrühe und mit dem Theïn und Theobromin beginnt, wirken die Endglieder derselben, das Strichnin, Brucin als die furchtbarsten Gifte, das Chinin, mehr in der Mitte stehend, als die geschätzteste Arzenei; die Bestandtheile des Opiums sind in kleinen Gaben Arzeneien, in grösseren Gifte. Der Tabak enthält eine sehr giftige organische, nicht krystallisirbare Basis: das Nicotin. Nach den Angaben von A. Bennet bringen Theïn, Kaffeïn, Guaranin, Cocaïn und Theobromin in kleinen Dosen eine Gehirnreizung mit nachfolgendem theilweisen Verlust der Sensibilität hervor. Grössere Dosen tödten unter Steigerung dieser Erscheinungen zuletzt mit tetanischen und klonischen Krämpfen. C. Binz constatirte, dass (bei Hunden) Kaffeïn, in kleinen Dosen injicirt, Temperatursteigerung von 0.3 bis 1.4° C. hervorbringt (die angewendeten Dosen waren 0.2—0.5 Kaffeïn subcutan injicirt). Dabei beobachte er ausser einer gewissen Starrheit der Muskeln, »verstärkter Innervation«, kein weiteres abnormes Verhalten. Die flüchtigen Röstprodukte des Kaffee's = Kaffeon (Boutron und Fremy) sollen dem Kaffeïn ganz analog wirken (mit letzterem verunreinigt?).

Bei dem Thee und Kaffee als Getränken kommen auch noch die nicht unbedeutenden Mengen anorganischer Stoffe in Betracht, welche in den Aufguss oder Absud eingehen. Es geben 100 Gewichtstheile Theeblätter (Souchong) mit siedendem Wasser ausgezogen 15.536 Gewichtstheile trocknen Extrakt, worin 3.06 Theile Asche = 19.69 % des Extraktes sich finden. 100 Gewichtstheile geröstete Kaffeebohnen lieferten mit Wasser ausgekocht 21.52 Theile Extrakt mit 3.41 Theilen Asche = 16,6 % des Extraktes. Der Theeaufguss ist besonders reich an gelösten Eisen- und Mangansalzen, welche sich aber in Verbindungen darin vorfinden, in denen die Gerbsäure (die sich sonst mit ihnen zu dem Schwarz der Tinte vereinigt) ohne alle Wirkung ist. Diese wenn auch kleine Eisenmenge kann, da die Natur für den Menschen lösliche Eisenverbindungen verlangt, nicht ohne Einfluss auf die vitalen Vorgänge sein. Liebig macht darauf aufmerksam, dass wir in dem Eisengehalte der meisten Theesorten den wirkenden Bestandtheil der wirksamsten Mineralquellen geniessen. Im Uebrigen sind die Aschenbestandtheile der Blutasche analog zusammengesetzt, alle dort vorkommenden Stoffe sind auch hier vertreten, besonders eine bedeutende Menge von Alkalien. In der Theeasche findet sich in ziemlicher Menge Natron, das im Kaffee fehlt und durch Kali ersetzt wird, wodurch dieser hygieinisch und physiologisch einen höheren Werth erhält.

Zweite Gruppe. Die bisher genannten Genuss- und Nervenreizmittel

sind in ihrer allgemeinen Verbreitung auf dem Kontinent verhältnissmässig neu. Uralt sind dagegen die alkoholischen Getränke, welche ihre Stelle in der Mehrzahl der Beziehungen zu ersetzen vermögen.

Der Alkohol wird zumeist aus Stärkemehl dargestellt, nachdem es zuerst in gährungsfähigen Zucker übergeführt wurde. Ausser Alkohol finden sich im Weine noch für das Leben wichtige anorganische Salze. Der Hauptwerth der alkoholischen Getränke fällt aber nicht auf ihre etwaige Mitwirkung zur Ernährung; schon ihr Preis zeigt im Vergleiche zu anderen Nahrungsstoffen, wie ungemein viel werthvoller sie für den Menschen sein müssen, als sich aus den chemischen Elementen, die sie zusammensetzen, berechnen lässt. Der Alkohol hat eine ganz analoge Wirkung auf das Nervensystem wie die bisher besprochenen Narkotika. Bei dem Branntwein kommt seine Wirkung allein in Frage. Neben den für die Narkotika in Betracht kommenden Wirkungen hat er einen directen Einfluss auf die Magenschleimhaut, wodurch er das Hungergefühl (cf. dieses) herabsetzt.

Bei dem edlen Weine richtet sich der Werth nicht nach dem Alkoholgehalt. Der Weingeist kommt bei der Werthbestimmung zwar stets in Betracht, aber der Preis steht in keinem Verhältniss mit ihm, weit eher steht er im Verhältniss zu den nicht flüchtigen Weinbestandtheilen. Es sind diese vorwiegend Aschenbestandtheile, Blutsalze (Liebig). Es ist bekannt, dass der edle Wein sich in seiner belebenden Wirkung der Fleischbrühe direct anschliesst, sie beruht in beiden Fällen zum Theil auf demselben chemischen Grunde.

Das Bier, welches immer mehr ein Volksgetränk der ganzen Welt wird, ist eine Nachahmung des Weines, aber eine in manchen Beziehungen verbesserte. Das Bier enthält nur eine verhältnissmässig kleine Menge Alkohol, ausserdem Kohlensäure, Zucker, Gummi, welche die grösste Menge der gelösten Stoffe ausmachen, dann Bitterstoffe und die aromatischen Stoffe des Hopfens, einen Rest von Kleberbestandtheilen, Fett, Milchsäure, Ammoniakverbindungen und die mineralischen Bestandtheile, welche aus der Gerste und dem Hopfen in das Bier übergehen. Es kann somit dem Biere eine gewisse Nahrhaftigkeit auch im gewöhnlichen Sinne dieses Wortes nicht abgesprochen werden, wenn auch sein Werth dadurch sicher nicht bestimmt wird, ebensowenig wie nach dem Alkoholgehalt. Ohne Zweifel haben wir in dem Biere eines der gelungensten Ersatzmittel des Fleischextraktes vor uns. Die Mehrzahl der Stoffe, welche wir dort wirksam fanden, finden wir auch hier wieder, was wir zum Lobe jenes Stoffes zu sagen haben, müssen wir hier wiederholen. Nur kommt hier noch der Alkohol mit seinen Nebenwirkungen auf das Gehirn in Betracht, der in mancher Beziehung das Bier vor dem Fleischextrakt noch auszeichnet. So wird es verständlich, wie es so vortreffliche Wirkungen auf die Ernährung hervorzubringen vermag, welche in keiner Beziehung zu seinem aus den organischen Bestandtheilen zu berechnenden Nahrungswerthe stehen. Mitscherlich fand in 100 Theilen Asche eines untergährigen Bieres: Kali 40,8 Phosphor 20,0, phosphorsaure Bittererde 20,0, phosphorsauren Kalk 2,6, Kieselerde 16,6 Gewichtstheile. Es fällt bei dem Biere der enorm grosse Gehalt an phosphorsaurem Kali auf, ein Salz, welches wir als ein Hauptagens in der Fleischbrühe erkannt haben. Ohne Zweifel hat es einen Antheil an den nervenerregenden Wirkungen, welche wir vom Biergenuss bei Schwächezu-

ständen in so hohem Maasse ausgeübt finden. Die grosse Menge von Kalisalzen, welche durch das Bier in das Blut gelangt, ist sicher daran schuld, dass ein übermässiger Biergenuss so stark ermüdende Wirkungen erzeugt. Dem Gehalt an phosphorsaurem Kali verdankt das Bier seine bedeutende Wirkung auf Anbildung von Organstoffen, die fast jeder Bierländer an seinem Leibe zur Schau trägt und die dem Biere (Malzextrakt) eine so hohe Wirkung als Heilnahrungsmittel für Reconvalescenten und Schwache ertheilt (cf. Einfluss anorganischer Stoffe auf die Ernährung). Die Kalisalze gehen durch das Blut in den Harn über, wo man sie bei Biertrinkern in erhöhter Menge antrifft.

Die Gewürze, welche den Speisen zugesetzt werden, haben nicht nur den Zweck, den Geschmack der Speisen zu verbessern, vor Allem haben sie die Aufgabe, auf die Absonderung der Verdauungssäfte steigernd zu wirken. Der sensible Reiz, den sie auf die Schleimhäute ausüben, mehrt reflectorisch die Drüsensekretionen.

Wir sehen daraus, dass wir eine Reihe von Stoffen ihren physiologischen Wirkungen nach unter die Gewürze zu rechnen haben, welche man gewöhnlich nicht hierher zieht. Die starken Geschmacksreizstoffe, welche durch das Braten und Rösten des Fleisches erzeugt werden, wie die schmeckenden Stoffe in der Brotrinde, gehören zu den stark wirkenden Gewürzen.

Die schädlichen Wirkungen des Alkoholgenusses sind bekannt. Die Körpertemperatur, sowie Kohlensäure und Harnstoffausscheidung werden herabgesetzt; es zeigt sich bei jugendlichen Säufern, ehe eine chronische Dyspepsie sich eingestellt hat, Neigung zum gesteigerten Fettansatz. Der Alkohol hat sonach eine deutliche Einwirkung auf den Stoffwechsel, den man wohl mit der Wirkung kleiner Dosen von Arsenik verglichen hat. H. Heubach, Binz und Aug. Schmidt konnten die oft gemachte Behauptung (neuerdings durch Albertoni e Lussana), dass durch die Respiration und den Harn ein Theil des aufgenommenen Alkohol unverändert ausgeschieden werde (Subbotin), nicht bestätigen. Der Schnapsgeruch stammt von dem Fuselöl. Das letztere (Amylalkohol) kommt bei dem Schnaps noch zu dem Alkohol als schädliche Beimischung. Die schädlichen Wirkungen von Thee und Kaffee (Chokolade) werden vielfältig übertrieben. Solche zeigen sich besonders bei sitzender Lebensart, schlechter Ernährung, Neigung zu Verdauungsbeschwerden etc., ohne dass man die betreffenden Getränke für diese Leiden beschuldigen durfte. Mit dem Aufgeben des Genusses von Thee und Kaffee ist meist noch wenig erreicht, wenn nicht die Lebensweise gründlich geändert wird. Doch muss man auch hier individualisiren. Bewegung im Freien, zweckmässige sonstige Nahrung bleibt immer die Hauptsache. An Stelle von Thee rathe man nervös gereizten Personen am Abend gutes Bier aus den oben gegebenen Gesichtspunkten. (Ueber Alkohol cf. auch thierische Wärme.)

Verfälschungen der Genussmittel zu ermitteln wird selten Aufgabe des Arztes sein. Einiges wurde schon oben erwähnt, was sich auf zufällige Beimischung schädlicher Substanzen bezieht (Blei, Kupfer). Das Kaffeesurrogat wird hier und da in Papier verpackt, das mit Mennige (Blei) gefärbt ist. Eisenvitriol dient zur Färbung der Kaffeebohnen, ist aber unschädlich. Der chinesische Thee wird am häufigsten mit den Blättern der Schleehe, des schwarzen Hollunders, Esche, Süssholzbaum und tropischen Verbenaceen verfälscht, welche an sich unschädliche Beimischung die Betrachtung der in heissem Wasser gequollenen Blätter erkennen lässt. Die Blätter der Thea chinensis sind kurz gestielt, elliptisch, länglich lanzettlich oder eirund, meist gespitzt, gesägt, kahl, glänzend, den Kirschblättern ähnlich. Campecheholz, Berlinerblau, Thon, Catechu dienen neben Kupferlösung und selbst Mineralgrün zur Verfälschung durch Färbung des grünen Thees.

Fünftes Capitel.

Die Gesetze der Ernährung.

Es gibt im äusseren Leben für das persönliche Interesse keinen wichtigeren Gegenstand, der so sehr in alle übrigen Verhältnisse einschneidet, als die Frage nach dem »täglichen Brod«. Die Frage, welche die eigentliche Lebensfrage für den Einzelnen ist, ist dieses auch für die Verwaltung und Erhaltung des Staates. Die nothwendige Beköstigung der stehenden Heere, wie die Ernährung in den Erziehungs- und Correctionsanstalten, alle jene Einrichtungen, welche die gleichzeitige Ernährung einer grösseren Anzahl von Individuen, die in dieser Hinsicht ihrer eignen freien Willkür entzogen sind, nothwendig machen, die Nahrungsversorgung der Grossstädte und Fabrikbevölkerungen etc. drängen zu diesem Ausspruch.

Für jeden Einzelnen gewinnt, sowie für den Arzt, die Wahl der Nahrung in Krankheitsfällen eine noch erhöhte Bedeutung. Wenn schon häufig in gesunden Tagen der Arzt in dieser Beziehung zu Rathe gezogen wird, so wird die Ernährungsfrage noch bedeutungsvoller bei Kranken, bei denen ihre Beantwortung auf vorher nicht geahnte Schwierigkeiten stösst, hervorgehend aus dem absoluten Mangel an Appetit, aus dem subjectiven Widerwillen gegen nur einzelne Nahrungsmittel, oder gar aus der Unfähigkeit, Nahrung zu verdauen und zu assimiliren; oft werden durch die Nahrungsaufnahme an sich die Krankheitserscheinungen noch gesteigert. In derartigen Fällen kann nur eine vollkommen exakte Kenntniss der physiologischen Ernährungsgesetze eine sichere Richtschnur für das Eingreifen des Arztes sein, und gewiss wird Derjenige die besten Heilungsresultate erzielen, der es versteht, auch unter solchen schwierigen Verhältnissen das Leben zu erhalten: *nicht wenige Kranke sterben in Folge ungenügender Nahrung.* Bei vielen Patienten nehmen die Symptome des speciellen Leidens mit der zunehmenden Stärkung des Allgemeinbefindens, hervorgehend aus passender Ernährung, ab, in dem gleichen Grade, wie sie durch Nahrungsmangel sich steigern. Hiervon sind sicher nur wenige Krankheiten ausgenommen, weit weniger als die Schulweisheit auch der neueren ärztlichen Praxis sich träumt. Ich deute an dieser Stelle nur auf die *Herzleiden* hin, die in so hohem Maasse mit der Schwächung der Gesammtmuskulatur an Intensität und Gefahr für das Leben zunehmen; der schlecht ernährte, schlaffe Herzmuskel ist nicht im Stande, die Hindernisse im Mechanismus durch gesteigerte Thätigkeit auszugleichen, während es bekannt ist, dass Herzfehler

von muskelkräftigen Personen ganz ohne Störung ihres Allgemeinbefindens ertragen werden können. Ebenso steht es fest, dass mangelhafte Ernährung des Muskelsystemes, auch ohne andere organische Störung des Herzens als Schwächung seiner Muskulatur, alle Symptome eines Herzleidens vorzutäuschen vermag.

Diese Betrachtungen drängen uns zu der Grundfrage:

Was ist nahrhaft?

Die Antworten, welche auf diese Frage gegeben werden, sind äusserst mannigfaltig und nirgends gehen die Meinungen in so hohem Grade aus einander als hier, während man doch denken sollte, dass die uralte Erfahrung des Menschengeschlechts die Aufgabe mit aller Sicherheit und Präcision schon längst müsste gelöst haben. Wir werden in der Folge unserer Betrachtungen einsehen, dass wir dem Volksinstinkte Unrecht thun würden, wenn wir ihm die sichere Kenntniss in dieser Richtung absprechen wollten: wir werden erstaunen, in welch mannigfachen Kombinationen die Ernährungsgesetze, welche die experimentelle Wissenschaft ihren neuesten Erfahrungen gemäss aufgestellt hat, in der Volksnahrung von je her zur Anwendung gelangen. Ganz anders aber fällt das Urtheil der Wissenschaft über die noch heute übliche Ernährungspraxis der ärztlichen Routine aus. Veranlasst von Vorurtheilen werden noch heute hier Fehler gemacht, welche zeigen, wie vollkommen eine wissenschaftliche Halbbildung den einfachen gesunden Menschenverstand zu verdunkeln vermag.

Wenn wir unsere Grundfrage: was ist nahrhaft? stellen, so bekommen wir von der Mehrzahl der Gefragten eine Antwort, in welcher uns eine Anzahl von Nahrungsmitteln zusammen genannt werden.

Man würde hören können, dass z. B. Fleisch sehr nahrhaft sei, dass aber auch Schwarzbrod in dieser Richtung nicht zu verachten wäre: für Kinder gebe es kaum etwas Nahrhafteres als das Stärkemehl der Pfeilwurzel: das Arrow-root, doch sei auch Rothwein oder Bier anzurathen, ebenso Chinin und Leberthran; für Kranke und Schwache gäbe es dagegen nichts Nahrhafteres als die Fleischbrühe oder noch besser das Fleischextrakt, welches die concentrirte Nahrhaftigkeit des Fleisches in sich enthält: der mit Salzsäure nach Liebig's Vorschrift gefertigte Fleischauszug — Infusum carnis f. p. — widerstehe den Kranken gewöhnlich sehr bald und lasse sich ja auch durch das Fleischextrakt einfach ersetzen. Fast jedes Wort in dem vorstehenden Satze ist falsch! und doch kann nicht geläugnet werden, dass in der Ueberzahl der Fälle die Antwort auf unsere Frage in der hier vorgetragenen Weise ausfallen würde.

Es mag paradox klingen, es ist aber wahr, wenn wir dagegen behaupten, dass alle diese genannten Stoffe für sich nicht nahrhaft sind.

Oder stimmt es mit dem Begriffe der Nahrhaftigkeit eines Stoffes überein, wenn wir vom Fleische auf das schlagendste experimentell nachweisen können, dass wir kaum im Stande sind, den Menschen mit reinem fettfreiem Fleische zu ernähren? er würde dazu eine so enorme Menge bedürfen, in 24 Stunden etwa 2,5 Kilo, welche kein Magen zu verdauen, kein Appetit ohne den gewaltigsten Ekel öfter als einmal zu verzehren vermag; etwa das gleiche Gewicht von Roggen-

brod würde erforderlich sein, einen Menschen zu erhalten, von Kartoffeln würden für ihn erst 6 Kilo genügen! Noch schlimmer verhält es sich mit anderen der genannten Stoffe: es steht fest, dass ein Individuum, welches allein mit Arrowroot oder Leberthran, diesen so allgemein angelobten Nahrungsstoffen, ernährt werden sollte, unumgänglich dem langsamen Hungertode verfallen würde, dasselbe gilt von dem mit Salzsäure bereiteten Fleischauszug. Was soll aber nun erst gegen den Rest der aufgezählten Substanzen gesagt werden? Das Urtheil der Wissenschaft über die Nahrhaftigkeit der Fleischbrühe, sowie des Fleischextraktes, hat schon der Wichtigkeit dieses Gegenstandes entsprechende Erörterung gefunden: Wein und Chinin können, wie die Fleischbrühe, den Stoffverbrauch des hungernden Organismus allein genossen nur steigern; sie sind also in dieser Hinsicht das genaue Gegentheil zur Ernährung dienender, dem Organismus seine Stoffverluste ersetzender Substanzen!

Der Grund, warum wir uns so entschieden gegen die gewöhnliche Annahme über »nahrhaft« aussprechen müssen, ist leicht aus dem schon bei der Besprechung der Nahrungsmittel Gesagten zu entnehmen. An sich ist für den Menschen kein einzelner Nahrungsstoff zur Ernährung hinreichend, es kann ein einzelner also auch nicht als »nahrhaft« bezeichnet werden. Es steht fest, dass der Organismus in seine Nahrung Albuminate bedarf, wir sehen aber, wie ungemein unvortheilhaft eine Ernährung allein mit diesem Nahrungsstoffe — also z. B. mit fettfreiem Fleische — sein würde, wenn auch die chemisch-physiologische Theorie die Möglichkeit einer Bestreitung aller Bedürfnisse an organischer Nahrung allein durch Eiweissstoffe lehrt. Es darf dabei die eben gemachte Bemerkung nicht vergessen werden, dass für den Menschen der Ekel vor dem Nahrungsübermaasse und das Gefühl der Magenüberladung schon früher eine Grenze für die Aufnahme zieht, als die zur Erhaltung des Organismus nöthige Fleischmenge aufgenommen ist.

Dass durch Stärkemehl oder Fett der Gesammtverlust des Organismus nicht gedeckt werden kann, liegt auf der Hand — es fehlen vor Allem diesen Stoffen die Albuminate, aber auch die Salze und das Wasser. Dasselbe gilt mit den nöthigen Einschränkungen in Beziehung auf den Salz- und Wassergehalt, in noch erhöhtem Maasse für Wein, Bier, Branntwein, Fleischbrühe und Fleischextrakt.

Die Theorie der Ernährung verlangt eine Mischung der einfachen Nahrungsstoffe und nur solchen Nahrungsgemischen kann eine wirkliche Nahrhaftigkeit zugesprochen werden. Damit also ein Stoff nahrhaft genannt werden kann, muss er, abgesehen von den Salzen und dem Wasser, wenigstens Eiweissstoffe und entweder Fett oder Kohlehydrate: Zucker, Stärkemehl etc. enthalten, oder auch beide letztere Stoffgruppen neben den Eiweissstoffen. Es können also z. B. die Milch, die Eier in Wahrheit als nahrhafte Stoffe bezeichnet werden, weil in ihnen die gemachten Anforderungen verwirklicht sind. Aber wenn sich auch einige Beispiele finden lassen, auf welche die Bezeichnung »nahrhaft« anwendbar erscheint, so möchte es doch vorzuziehen sein, diesen veralteten Begriff, der zu so vielfältigen Missdeutungen Veranlassung gibt, gänzlich aufzugeben. Denn auch die eben angeführten Beispiele passen doch nur sehr uneigentlich. Was für eine enorme Menge von Milch würde nöthig sein (4,5 Kilo), um einen Erwachsenen davon

einen Tag lang zu ernähren, da sie 88—90 % Wasser enthält, so dass nur etwa 100—120 Grm. feste Stoffe ausser dem Wasser in einem Kilo Milch genossen werden? Ganz ähnlich verhält es sich mit den Eiern. Magendie berichtet, dass sich ein gesunder, junger Hund mit 12—15 hartgekochten Eidottern nicht ernähren liess, ein Mensch bedarf zur vollkommenen Ernährung mit Eiern etwa 40 Stück.

Dabei muss noch sogleich in die Augen springen, dass für verschiedene Individuen je nach Alter und Beschäftigungsweise etc. der Begriff der Nahrhaftigkeit sehr wechselnd sein müsste, für alle einzelnen Körperzustände müssen wir ihn entsprechend modificiren. Ein jugendlicher Organismus bedarf zum Wachsthum, zum Ansatz von Stoffen im Allgemeinen eine andere Art des Nahrungsgemisches als der Körper eines Arbeiters, dessen Muskelsystem vor Allem in Anspruch genommen wird und daher eine überwiegende Ausbildung verlangt.

Die Körperzustände in Beziehung auf die quantitativen Verhältnisse der Organe sind individuell sehr verschieden. Sie sind Resultate der Ernährungsweise, welche vorausging. Es muss immer gefragt werden, ob man sich die Aufgabe setzt, den bestehenden Körperzustand zu erhalten oder in einen anderen zu verändern. Danach wird es sich richten, ob wir eine Nahrung für das betreffende Individuum passend finden oder nicht.

Und wie mannigfach modificiren sich diese Verhältnisse in Krankheitsfällen.

Die Organwägungen von E. Bischoff, die quantitativen Verhältnisse der Organe zu dem gesammten Körpergewicht, geben wenigstens für einige verschiedene Körperzustände Vergleichungspunkte. E. Bischoff bestimmte die Organgewichte an einem 33 Jahre alten, stämmig gebauten, starken, 168 cm grossen Hingerichteten, der vollkommen gesund erschien. Ebenso an einem durch Sturz verunglückten und augenblicklich getödteten Mädchen von 22 Jahren, 159 cm gross, üppig gebaut, wohlgenährt, ebenfalls gesund. Dieselben Bestimmungen theilt er mit an der Leiche eines gesunden fettarmen 16jährigen Selbstmörders, eines neugebornen Knaben und neugebornen Mädchens und einer 6monatlichen Frühgeburt. Die folgende Tabelle macht die beobachteten Verschiedenheiten anschaulich:

				Neugebornes		
	Mann:	Weib:	Jüngling:	Knabe:	Mädchen:	Frühgeburt:
Gewicht des ganzen Körpers in Grm.	69668	55400	35547	2400	2969	364
in Procenten des Körpergewichts	%	%	%	%	%	%
das Skelet	15.9	15,1	15,6	17,7	15,7	20.3
die Muskeln	**41.8**	**35,8**	**44.2**	**22.9**	**23.9**	**22.3**
Brusteingeweide	1.7	2,4	3,2	3,0	4,5	2,7
Baucheingeweide	7,2	8,2	12,6	11,5	12,1	12,3
Fett	**18.2**	**28.2**	**13.9**	20,0 (Fett und Haut)	**13.5**	14,8 (Fett und Haut)
Haut	6,9	5,7	6,2		11,3	
Gehirn	**1,9**	**2,1**	**3,9**	**15,8**	**12,2**	**18.5**

Die Tabelle lehrt direct, wie verschieden der weibliche Körper von dem männlichen in Beziehung auf Fettreichthum und Muskulatur sich zeigt. Der grossere Fettreichthum des weiblichen Körpers darf nicht als etwas Anormales betrachtet werden. Entsprechende Unterschiede zeigen sich bei Vergleichung des kindlichen neugebornen Organismus mit dem Erwachsenen und des ersteren mit dem noch Ungebornen. Noch weiter ins Einzelne wurden von Beneke die Organwägungen ausgedehnt und hiebei physiologisch weittragende Diffe-

renzen gefunden. (cf. seine Resultate Cap. X. Blutvertheilung resp. anatomische Grundlagen der Constitutionen).

Aus den Wasserbestimmungen, die E. Bischoff an den Organen des Hingerichteten und des neugebornen Mädchen anstellte, ergiebt sich, dass der Körper des Erwachsenen besteht aus:

58,5% Wasser und 41,5% festen Theilen,

der Körper des Neugebornen aus:

66,4% Wasser und 33,6% festen Theilen.

Der Erwachsene wog im Ganzen:

69668 Gramm = 40709,4 Wasser und 28958,6 feste Theile:

von dem Wasser treffen auf:

Muskeln . .	22027,1	Gramm	= 75,7%
Fett . . .	3760,6	-	= 28,9 -
Haut . . .	3493,5	-	= 72,0 -
Blut . . .	2836,9	-	= 83,0 -
Leber. . .	1076,0	-	= 69,3 -
Gehirn . .	1027,0	-	= 75,0 -

Die Muskeln des Neugebornen hatten: 81,8% Wasser; das Gehirn 89,4%, Blut 85%.

Es wäre interessant, ähnliche Bestimmungen für noch weitere Körperzustände zu machen. Besonders bei Krankheiten würden sie uns einen Einblick in die nothwendigen Voraussetzungen einer für den speciellen Fall zweckentsprechenden Ernährungsweise geben können.

G. v. Liebig findet, dass das Gehirn unabhängig von der Körpergrösse bei normalen erwachsenen Personen annähernd das gleiche absolute Gewicht besitze. Das Herz zeigt sich hingegen in ausgedehntestem Maasse in seinem Gewichte von den Schwankungen des Gesammtkörpergewichts abhängig (cf. unten bei Constitution und Constitutionsdifferenzen.)

Die Bedeutung der Nährstoffe.

Die Hauptaufgabe der Ernährung ist es, den Körper in einen leistungsfähigen Zustand zu versetzen oder in einem solchen zu erhalten. Die Leistungsfähigkeit der Organe hängt von ihrer normalen Zusammensetzung ab; die Aufgabe der Ernährung lässt sich sonach dahin definiren, dass sie den Körper in seiner chemischen Zusammensetzung zu erhalten oder diese in einer bestimmten Weise zu verändern habe. Wir stellen sonach als erste Hauptfrage: was und wie viel muss in der Nahrung zugeführt werden, um den leistungsfähigen normal zusammengesetzten Körper des Menschen, bei Körperruhe wie bei gesteigerter Muskelarbeit, in seinem Bestande an Wasser, Aschenbestandtheilen, Fett und Eiweiss zu erhalten und zwar auf die einfachste und beste (sparsamste) Weise. Wollen wir eine Veränderung in der Körperzusammensetzung, z. B. bei abnormer Magerkeit oder Fettleibigkeit hervorbringen, so müssen wir unsere Grundfrage entsprechend modificiren.

Richten wir zunächst unsere Aufmerksamkeit auf eine Erhaltung des Bestandes, so ergibt sich sofort die Nothwendigkeit, den fortwährenden sensiblen und insensiblen Wasserverlust des Körpers durch directe oder indirecte Wasserzufuhr zu decken.

Ebenso müssen wir jeden zum Aufbau der Organe und zu der chemischen Mischung der Organflüssigkeiten nothwendigen anorganischen Stoff (Aschenbestandtheil) in der Nahrung aufnehmen, damit der Organismus nicht an einem derselben verarmt. Jeder von ihnen ist für die Erhaltung des Lebens nothwendig und der Organismus geht an »Salzhunger« oder Hunger an einem bestimmten nothwendigen Aschenbestandtheile ebenso zu Grunde, wie an Mangel an organischen Nährstoffen oder Wasser. Trinkwasser und rationelle Nahrung führen uns in den meisten Fällen für das Leben genügende oder überreichliche Mengen an diesen Stoffen zu.

Um eine Fettverarmung des Körpers zu verhüten, wird Fett direct genossen, welches an

Stelle verbrauchten Körperfettes sich in den Organen ablagern kann. Durch die Kohlehydrate der Nahrung kann man die Fettabgabe des Körpers verhüten und Fettansatz ermöglichen, Eiweiss kann zu demselben Zwecke dienen, ebenso Leim.

Da der animale Organismus beständig Eiweissstoffe zersetzt und Eiweissstoffe aus anderen chemischen Stoffen nicht zu bilden vermag, so muss er zur Erhaltung seines Eiweissgehaltes eine bestimmte Menge von Eiweissstoffen in der Nahrung einführen. Von Eiweissstoffen allein bedarf man sehr viel, um die Abgabe von Albuminaten von Seite des Körpers ganz aufzuheben. Geniesst man z. B. neben Albuminaten und den genügenden Salz- und Wassermengen noch Fette, Kohlehydrate oder Leim, so werden letztere Stoffe im animalen Organismus zwar selbst nicht zu Eiweissstoffen und heben den Verbrauch von Albuminaten niemals vollkommen auf, sie können denselben aber in der wesentlichsten Weise beschränken.

Die einfachste Mischung der Nährstoffe, in welcher in der geringsten Gewichtsmenge die zur Erhaltung nöthigen Stoffe eingeführt werden, ist: Butterbrod mit Fleisch.

Zur Entwickelung der Ernährungslehre.

Die Sorge um die tägliche Ernährung, zu welcher Hunger und Schwäche bei mangelnder Nahrung den civilisirten Menschen wie den Wilden mit gleicher unabweisbarer Nothwendigkeit hintreibt; die Erfahrung, die so alt ist wie das Menschengeschlecht, dass ein Uebermaass der Nahrung und unzweckmässige Nahrungsmittel mit der Erhaltung der Gesundheit ebenso unverträglich sind wie Hunger; dass in Zuständen von Krankheit und Schwäche, bei dem Wechsel der Beschäftigungen und äusseren Lebensbedingungen, dass bei Verschiedenheiten in den Lebensaltern dieselben Ernährungsweisen von mangelhafter oder sogar schädlicher Wirkung werden, die unter anderen Umständen unschädlich oder sogar vorzugsweise zuträglich erscheinen, lenkten früh die Aufmerksamkeit der Denker den Ernährungsfragen zu. Wir finden in den ältesten Ueberlieferungen gebildeter Völker, z. B. der Inder, der Hebräer, der Griechen, die Ernährungslehre der Stufe des damaligen naturwissenschaftlichen und ärztlichen Wissens angepasst, mit wahrhaft überraschender Sorgfalt ausgebildet. Es waren, wie wir sehen, zunächst diätetische Fragen, die sich bei der Wahl unter den gegebenen Nahrungsmitteln aufdrängten, und die alte Ernährungslehre geht zunächst auf in einer Diätetik, die für die verschiedenen Lebensverhältnisse bis in's Einzelne ihre Regeln aufstellt.

Dem Beobachtungsgeiste der Griechen entsprach es, über das »Was« auch das »Warum« nicht zu vergessen. Man fragte nach den tieferen Bedürfnissen, denen durch die fortgesetzte Nahrungsaufnahme genügt werden sollte. Wir erstaunen, wenn wir in den Aussprüchen von Aristoteles und Hippokrates einer Unterscheidung zweier Zwecke begegnen, denen die Aufnahme der Nahrungsstoffe genügen soll, einer Unterscheidung, die wir in analoger Weise unseren fortgeschrittenen Detailkenntnissen angepasst, im Allgemeinen ebenfalls noch festhalten. Aristoteles unterscheidet, abgesehen davon, dass die Nahrung zum Körperwachsthum erforderlich ist, Stoffabgabe (Abgabe von Flüssigkeiten durch die Haut), für welche die Nahrung Ersatz zu leisten habe, und Wärmeabgabe (vorzüglich in der Athmung), für deren Unterhaltung ebenfalls die aufgenommenen Nahrungsstoffe dienen sollten. In Beziehung auf die Ausscheidungen durch Nieren und Darm erkannte er die hohe Abhängigkeit, die sie von der jeweiligen wechselnden Nahrungsaufnahme zeigen, er sah in ihnen, wie wir zum grössten Theil noch heute, das zur Ernährung des Körpers Unbrauchbare der aufgenommenen Nahrungsstoffe (das Bittere), dessen sich der Organismus wieder entledigt. Hippokrates spricht von der Flüssigkeitsabgabe durch die Haut und ihren insensiblen Ausscheidungen. Aus seinen Aussprüchen geht deutlich hervor, dass man schon damals als Hauptursache des Verbrauchs der Körperstoffe bei mangelnder Nahrungsaufnahme ganz in unserem Sinne die fortschreitende Wärmeabgabe des menschlichen (animalen) Organismus (wir pflegen dafür einen der chemischen Gründe der Wärmeerzeugung, Oxydation, anzuführen) erkannt hatte. Dieser Verbrauch an Wärme- bildendem Stoff des Körpers sollte durch die Nahrung ersetzt werden.

Er sagt z. B.: die wachsenden Körper enthalten die meiste natürliche Wärme eingepflanzt, sie erfordern daher die meiste Nahrung, sonst zehren sie ab. Hippokrates suchte in den Nahrungsstoffen ein specifisch »Nährendes«, ein Aliment, das er in analogem Sinne als Bestandtheil der Nahrungsstoffe anspricht, wie man sich seit und nach seiner Zeit die Stoffe aus den sogenannten aristotelischen vier Elementen zusammengesetzt dachte. Er suchte offenbar dieses nährende Princip in einem oder mehreren dieser Elemente. Denn allgemein dachte man sich, wenigstens seit Hippokrates, als Grundlage aller leiblichen Bildung jene vier im engeren Sinne sogenannten Elemente: Erde, Wasser, Luft und Feuer, wozu die Lehre der Pythagoräer ein fünftes, höchstes Element, den Aether setzte. Auch der leibliche Mensch ist harmonisch aus jenen vier Elementen gebildet. »Wenn nach Gottes Geheiss die Seele den erkaltenden Leib verlässt, dann wird das Fleisch wieder zur Erde, der Hauch zur Luft, die Feuchtigkeit kehrt hinab zur Tiefe, die Wärme kehrt zum Aether zurück« (Origenes). Die vier gewöhnlichen Elemente erschienen jedoch schon Aristoteles keineswegs als das eigentlich Erzeugende der leiblichen Formen, ja überhaupt nicht als letzter Grund des sichtbaren Stoffes. Aristoteles nennt als erste Grundlage des Leibes statt jener vier Elemente vier Eigenschaften der Materie (Kräfte): Kälte, Wärme, Trockenheit und Feuchte. Jene vier gewöhnlichen Elemente werden von ihm als Elemente der ersten Ordnung betrachtet, aus ihnen bilden sich als Elemente der zweiten Ordnung die gleichartigen Theile der organischen Körper: Knochen, Fleisch u. s. w., und aus diesen entstehen als Bildungen der dritten höheren Ordnung die verschiedenen Glieder. Dass die Nahrung, wenigstens die animalische, solche Elemente zweiter Ordnung dem Körper zuführt, kann von dem tiefen Einblick in die natürlichen Vorgänge, dem wir hier überall begegnen, nicht verborgen geblieben sein.

Aus den Bildern, welche von den Griechen zur sinnbildlichen Darstellung des Verkehrs der animalen Organismen, vor Allem des Menschen mit der Atmosphäre, überhaupt des Lebensvorganges gewählt werden, geht mit Deutlichkeit hervor, dass sie die Analogie zwischen dem Vorgang des Lebens und dem einer Verbrennung erkannt hatten. Wir finden z. B. bei Aristoteles, der die Nothwendigkeit des Verkehrs des Herzens (Blutes) mit den belebenden Kräften der Atmosphäre kannte, an verschiedenen Stellen Andeutungen in dieser Richtung. Das Herz ist ihm der heimatliche Herd, auf welchem verwahrt, wie in fester Burg, das Feuer des Lebens ernährt wird, denn von ihm, dem heissesten Theil des Leibes, geht die Wärme aus, welche bei dem Hauptgeschäft der Seele, zu ernähren und zu bewegen, ein so nothwendiges Erforderniss ist, dass der Tod hauptsächlich durch das Erlöschen der Wärme entsteht. Die nothwendige Beziehung der Athmung (Lunge) zur animalen Wärme hat Aristoteles zuerst erkannt (cf. Athmung).

Wir können es aussprechen, dass den anatomischen und chemisch-physikalischen Detailkenntnissen entsprechend die wissenschaftliche Ernährungslehre der damaligen Zeit den Vergleich mit der unseren nicht zu scheuen braucht.

Die Forschung über den menschlichen Organismus baute zunächst auf der Grundlage fort, welche der Begründer der naturwissenschaftlichen Methode, Aristoteles, vor Allem gelegt hatte, es war die vergleichende Anatomie und die Anatomie des menschlichen Körpers. Man suchte mit dem glänzendsten Erfolge die Verrichtungen, »den Nutzen« der einzelnen Organe durch Vergleichung zu erkennen, auf welchem Wege schon Aristoteles selbst zu bedeutenden Fortschritten gelangt war und der noch unsere Zeit immer neuen Erfolgen zuführt. In Beziehung auf chemisch-physikalische Anschauungen sehen wir die Theorien über die Vorgänge im Organismus dagegen nur langsam sich entwickeln. Noch über ein halbes Jahrtausend später finden wir bei Claudius Galenus, dem grössten Arzt und Physiologen seiner Zeit, die alten aristotelischen Anschauungen wieder, nur gleichsam aus der begeisterten Sprache der Poesie in die alltägliche, bürgerliche Ausdrucksweise übertragen. Die oben citirten Aussprüche seines Meisters über Herz und Lungen im Zusammenhang mit der thierischen Wärme fasst er in das prosaische, nicht einmal ganz passende Bild einer Lampe zusammen: »das Blut spielt die Rolle des Oels, das Herz des Dochts, und die athmende Lunge ist ein Instrument (Blasebalg), welches die äussere Bewegung zuführt«.

Es ist klar, dass wir für die Erklärung der chemisch-physikalischen Vorgänge, welche der animale Körper zeigt, also zunächst vor Allem seiner Wärmebildung von den Denkern immer die Anschauungen und Ausdrucksweisen benutzt finden, welche sich die Zeit zur Erklärung und Bezeichnung chemischer und physikalischer Vorgänge gebildet hatte. Wohl schon vor den Zeiten des CALIGULA, der aus Auripigment Gold machen wollte, wovon uns PLINIUS berichtet, wurde die Chemie durch das Bestreben, unedle Metalle zu edlen, namentlich Gold zu machen, zuerst als praktische Wissenschaft geschaffen und entwickelt. Freilich mögen in den egyptischen Büchern über die Scheidekunst des Goldes und Silbers, welche DIOCLETIAN im Gegensatz zu den vergeblichen Versuchen der Goldmacher zu verbrennen gebot, schon manche specielle chemische Erfahrungen niedergelegt gewesen sein.

Es schloss sich an die Annahme von vier sinnlich wahrnehmbaren Elementen oder »Müttern« sehr bald die Lehre der Alchymisten an von den drei Grundstoffen oder Grunddingen: Schwefel, Salz und Quecksilber, für welche beide letzteren auch Arsenik und Erde genannt werden. Sie werden auch in gewissem Sinne unseren »Kräften« analog als Hauptbedingung aller körperlichen Formung aus den vier Elementen betrachtet. In diesen Grunddingen der Alchymisten setzte man eine Art von Individualität voraus, denn jedes Metall hatte seinen eigenen Schwefel, sein besonderes Salz u. s. f. Die späteren Chemisten des Mittelalters nehmen auch eine Zusammensetzung des menschlichen Leibes wie der Metalle nicht blos aus den »vier Müttern«, sondern nächst diesen aus den drei Grunddingen an. Damit hängt es zusammen, dass das grosse »Arcanum«, nach dem sie suchten, nicht nur schlechtes Metall in Gold verwandeln, sondern auch die Universalmedicin sein sollte. — So scheinen das erste Eingreifen und die Fortschritte der Chemie, auf denen unsere jetzige Anschauung basirt, zunächst mit einem Rückgang in den wissenschaftlichen Fragen verbunden zu sein, aber indem sich die wissenschaftliche Betrachtung ein neues Erklärungsprincip, das chemische, aneignete, sehen wir in diesem scheinbaren Rückschritt, der über dem Eindruck der neuen, halbverstandenen Erfahrungen das Altgewusste zu vergessen scheint, den Beginn einer neuen, fortgeschrittenen Zeit. Die Chemie sammelte als Alchemie eine Summe von Erfahrungen, eine erstaunliche Menge von Versuchen wurde gemacht. Das dort Neugewonnene übertrug man sogleich auf das Gebiet der Physiologie. Chemische Vorgänge, bei denen sich Wärme ohne Feuererscheinung entwickelte, schienen noch tauglicher zur Erklärung der animalen Wärme als das aristotelische Feuer. Man fasste die Vorgänge, bei welchen, wie bei der Gährung zuckerhaltiger Flüssigkeiten, Gasentwickelung und Wärmebildung ohne Feuererscheinung beobachtet wurde, unter der allgemeinen Bezeichnung »Gährung« zusammen und rechnete hierzu alle diejenigen Processe, bei denen, wie z. B. bei der Einwirkung von Säuren auf kohlensaure Alkalien und Erden, oder auf Metalle, eine Zersetzung ohne Anwendung höherer Wärmegrade erfolgte.

Nach PARACELSUS' Ansicht zerlegt der »Archäus« (chemische Kraft und Lebenskraft) im Magen die Speisen in die Essenz, das Gute, und in das Unbrauchbare, Giftige, das Böse. Letzteres wird als schädliches Exkrement im Harn, Koth und Athem ausgeschieden, ersteres dient zum Ersatz der fortwährenden Organverluste.

Die Iatrochemiker dachten sich diese Stoffverluste des Körpers, zu deren Ersatz die Nährstoffe eingeführt werden, unter dem Einfluss ihrer »Gährungen« eintreten. Zu Gährungen der Art schien durch das Zusammentreffen verschiedenartiger Flüssigkeiten im Körper, wie des alkalischen Blutes mit dem sauren Inhalt des Magens, der dem Blute zugeführt wird (Milchsaft), reichlich Gelegenheit gegeben. Die »Essenz« des PARACELSUS, gleich dem hippokratischen Aliment, ist für sie der gährungsfähige Schleim, den alle Nahrungsstoffe enthalten sollen.

Die Mechanik hatte sich in stetigem Gang neben ihrer jüngeren Schwester, der Chemie, fortentwickelt. Das Problem des Lebens suchten beide Wissenschaften mit den ihnen zu Gebote stehenden Hülfsmitteln zu lösen. Aerzte schlossen sich diesen Bestrebungen an, es entstanden die sich bekämpfenden Schulen der Iatrochemiker und Iatromathematiker, deren

Streit oft an die Diskussionen unserer Tage zwischen den analogen Richtungen in Physiologie und Medicin erinnert.

Während die chemische Schule nach Analogien tastend das Leben aus den ihr gerade bekannten chemischen Vorgängen zu erklären suchte, war die mathematisch-physikalische Betrachtungsweise, die Iatromathematik, zu den schönsten Erfolgen in Beziehung auf die Theorie der mechanischen Bewegungen des Organismus und im Organismus des Menschen und der Thiere gelangt. Man konnte den Versuch wagen, das Problem der menschlichen Arbeitsthätigkeit mechanisch-experimentell zu lösen, und HELMHOLTZ macht mit Recht darauf aufmerksam, dass wir von diesem Gesichtspunkt die kunstreichen Automaten aufzufassen haben, welche man baute und die, wie die fliegende hölzerne Taube des ARCHYTAS VON TARENT (408 v. Chr.), der menschliche Automat des ALBERTUS MAGNUS, dem THOMAS VON AQUIN im Schrecken den Kopf zerschlug, als er ihm die Thür öffnete und ihn scheinbar anredete, die Automaten des REGIOMONTANUS, VAUCANSON, der beiden DROZ, animale und speciell menschliche Verrichtungen nachahmten. Die mechanische Schule stellte neben die von den Chemikern angenommene Ursache von Substanzverlust durch Gährung die Abnutzung, die Abreibung der arbeitenden, bewegten Organe als eine zweite Ursache auf. Die Abnutzung sollte in der organischen Maschine des Menschenleibes ebenso und aus analogen Gründen erfolgen, aus denen sie bei ihren Automaten und bei jeder anderen Maschine erfolgt. Die Stoffverluste aus beiden, den chemischen und physikalischen Ursachen, sollten durch die eingeführten Nahrungsmittel gedeckt werden.

Damit waren die beiden Gesichtspunkte im Principe aufgefunden, nach denen noch heute die Ernährungsfragen beurtheilt zu werden pflegen; Wärmebildung und Organerhaltung mit Organbildung.

In dem Streit der sich bahnbrechenden neuen chemischen Anschauungen mit der aristotelischen und der darauf gebauten alt-chemischen Theorie machte die Ernährungslehre nur indirecte Fortschritte.

Der Irländer ROBERT BAYLE stellte in seinem Skeptical Chymist 1661 zuerst die Grundansichten der neueren Chemie auf, er nahm eine grössere Zahl von einfachen Stoffen an und ein anderes Gesetz ihrer Verschiedenheit als jenes nach den vier Elementen und den drei Grunddingen; die Gestalt der Atome solle die Verschiedenheit der einfachen Stoffe verursachen. Durch unseren STAHL wurde die Chemie wissenschaftlich gestaltet, sein System, das phlogistische, konnte jedoch dauernd sich nicht behaupten. BECHER und STAHL nahmen in den drei Naturreichen die gleichen Elemente an, die sich nach BECHER in den organischen Substanzen in verwickelterer Weise verbinden als in der anorganischen Natur. STAHL fand in den Pflanzen- und Thierstoffen wässerige und brennbare, in den Mineralien erdige Bestandtheile vorwiegen. Eine Menge von Stoffen, z. B. Salze, hatte man schon aus den organischen Körpern isolirt und als Bestandtheile erkannt (cf. unten).

A. HALLER, der Begründer der neueren Physiologie, den man mit Stolz den ARISTOTELES des 18. Jahrhunderts nannte, fasst die wissenschaftlichen Ansichten seiner Zeit in kurzen Worten zusammen. Die thierische Wärme entsteht vor Allem, aus chemischen Processen im Körper selbst. Die Nahrung deckt die beständig unter der Einwirkung der Wärme und durch die Abnutzung der Organe entstehenden Verluste. Durch die beiden genannten Einflüsse entstehen scharfe Stoffe, die als schädliche Exkrete ausgeworfen werden müssen. Diese Ansicht ist darum von Wichtigkeit, weil hier zuerst der moderne Begriff des »Stoffwechsels« auftritt, ein Theil der Auswurfsstoffe des Körpers entstammt diesem Stoffwechsel. Er wusste, dass die Faser, welche ihm die Organisationseinheit der thierischen Bildungen ist, und deren Stoffverluste durch die Nahrung ersetzt werden sollen, bestehe aus Wasser, Aschen- (erdigen) Bestandtheilen, unter denen neben salzigen Stoffen (thierischem Alkali) vor Allem das Eisen speciell bekannt war, aus Oel und luftförmigen Bestandtheilen. Aus dem als Nahrung aufgenommenen Fleische und den mehligen Nahrungsstoffen wird nach ihm in der Verdauung eine gallertige Lymphe gebildet, die sich in die Lücken, welche die abgeriebenen Theilchen gelassen, ansetzt und so den entstandenen Verlust ausgleicht. Der sonstige aus Pflanzen-

nahrung hervorgehende Nahrungssaft dient zu den dem Organismus nöthigen anderen chemischen Zwecken. Er ertheilt dem Blute den nöthigen Salzgehalt; er mildert durch seine Säure die alkalische Schärfe des Blutes, bringt also zunächst einen jener »Gährungsvorgänge« hervor, von denen seit der Lehre der Iatrochemiker die Erzeugung der thierischen Wärme abgeleitet wurde. A. Haller steht sonach, wenn sein Wissen auch noch im Einzeldetail mangelhaft ist, auf einer höheren Stufe der Erkenntniss dieser natürlichen Processe als seine Vorgänger. Seine Ansichten sind Vorläufer für die Anschauungen der Neuzeit vom Stoffwechsel und dem ungleichen Werthe der verschiedenen Nahrungsstoffe für die Ernährung.

Der 1. August 1774 wird als der Tag genannt, an welchem Priestley den grössten chemischen Fund seines Jahrhunderts machte, als er den Sauerstoff entdeckte. Als dessen zweiter Entdecker ziemlich gleichzeitig muss Schele genannt werden. Lavoisier verstand es, diesen Fund zu dem grössten Fortschritt in der Chemie zu verwerthen, welcher der schon 113 Jahre früher aufgestellten Theorie der Elementarstoffe Bayle's erst ihre eigentliche Bedeutung gab. An dem Gesetz der Verbindung mit Sauerstoff wurde die neuere Chemie aufgebaut. Die neue Kenntniss über den chemischen Vorgang bei den vorzüglich wärmeerzeugenden Processen, den Verbrennungen, Oxydationen, verwerthete er für den Process der thierischen Wärmebildung in der Athmung (cf. diese). Er erklärte die Nothwendigkeit des Verkehrs der animalen Organismen mit der Luft daraus, dass der wesentliche Luftbestandtheil: der Sauerstoff, die Lebensluft, in der Athmung aufgenommen werden müsse, um einen Verbrennungsvorgang zu unterhalten, an den der Fortbestand des animalen Lebens geknüpft und der die Quelle der thierischen Wärme ist. Die Vorgänge der Zersetzungen im Thierorganismus unter dem Einfluss der Luft, die man früher als Gährungen bezeichnete, wurden durch die Sauerstoffaufnahme bei der Athmung neu erklärt. Diese Zersetzungen müssen durch eingeführte Nahrungsstoffe, denen die Fähigkeit zukommt, Sauerstoff in sich aufzunehmen und mit ihm Kohlensäure, Wasser und stickstoffhaltige Verbindungsprodukte zu bilden, dem Körper wieder ersetzt werden. Das Abhängigkeitsverhältniss der Thiere vom Pflanzenreich wurde erkannt; die Anschauungen unserer Zeit über die allgemeinen Ernährungsvorgänge im Thier- und Pflanzenreiche, wie sie im zweiten und dritten Capitel dargestellt wurden, basiren auf den von Lavoisier eingeführten Ansichten.

Wie natürlich wurde der neuen Lehre, die zunächst noch mit unberechtigter Anmassung, Alles erklären zu können, auftrat, Widerstand entgegengesetzt, besonders in Deutschland, wo die geistreiche Experimentalforschung und Kritik Stahl's fortgesetzt ihre Anhänger auch unter den Chemikern zählte. Sehr wichtig war es, dass der bedeutendste Experimental-Physiolog dieser Zeit, Magendie, auch in Paris selbst doch nicht so ganz die absolute Nothwendigkeit der neuen Lehre zur Erklärung der Vorgänge in den animalen Organismen anerkannte. Es gelang ihm an dem mehr bewunderten als ausgebauten Lehrgebäude in wesentlichster Weise zu rütteln. Lavoisier hatte für die Erklärung der Athmung angenommen, dass aus dem Blut eine kohlen- und wasserstoffreiche Flüssigkeit in die Lungen schwitze, welche dort verbrannt würde zu Kohlensäure und zu Wasser. Magendie konnte für das Wasser die ältere Ansicht als begründet experimentell beweisen, dass das Wasser, welches durch die Lungen abgegeben wird, wenigstens sicher seiner Hauptmasse nach nicht aus einer Verbrennung, sondern aus dem in den Säftekreislauf eingeführten Wasser stamme. Magendie fuhr fort, in der von Haller angebahnten Richtung zu experimentiren; er ist der Begründer unserer experimentellen Forschung in der Ernährungslehre. Die Fortschritte der Chemie hatten eine grosse Anzahl neuer Stoffe aufgefunden, altbekannte näher erforscht. Er unternahm es, die in den Nahrungsmitteln enthaltenen einfacheren Stoffe näher auf ihre Wirkung für die Ernährung zu untersuchen. Von ihm ist die Eintheilung dieser Stoffe in stickstoffreiche und stickstofffreie (oder stickstoffarme). Seine Versuche ergaben, dass die stickstofffreien Nährstoffe: Rohrzucker, Gummi, Olivenöl, Butter etc. nicht vermögend sind, die animalischen Organismen zu erhalten, die ausschliesslich damit gefütterten Thiere gingen unter allen Zeichen der Inanition zu Grunde. Bei der Section fand sich alles Fett verzehrt, die Muskelmasse sehr bedeutend vermindert. Tiedemann und Gmelin bestätigen Magendie's Erfahrungen (die Unfähigkeit,

allein zur Ernährung zu dienen für die stickstofffreien Substanzen: Zucker, Gummi, Stärke durch Versuche an Gänsen.

Für die Classe der stickstoffhaltigen Nahrungsstoffe ergaben die Versuche ein bemerkenswerth verschiedenes Resultat.

Der Leim allein genossen scheint auf die Dauer nicht zu nähren, dagegen blieben Hunde, blos mit Käse oder harten Eiern gefüttert, am Leben, obwohl sie schwach und mager wurden und die Haare verloren, ebenso bewies MAGENDIE, dass von fettlosem »Muskelfleisch« wenigstens Nagethiere sich zu erhalten vermögen. TIEDEMANN und GMELIN erhielten eine Gans mit ungenügenden Mengen von gekochtem und zerhacktem Eiweiss über anderthalb Monate am Leben, während ihre mit Gummi gefütterten Gänse am 16., mit Zucker am 22., mit Stärke am 24. Tage starben. Die Versuche ergaben sonach, dass unter den einfachen Nahrungsstoffen nur die eiweisshaltigen, unter diesen vor Allem das Muskelfleisch zur Unterhaltung des Lebens geeignet seien. Trotzdem dass, wie MAGENDIE nachweisen konnte, bei seinen Versuchen eine Verdauung und Chylusbildung auch bei der Zufuhr der einfachen stickstofffreien Stoffe eingetreten war, starben dabei die Thiere unter allen Zeichen der Verhungerung.

Folgerichtig wurden zwei Schlüsse aus den experimentellen Beobachtungen gezogen, im Zusammenhalt mit der täglichen Erfahrung:

1) Nahrungsstoffe, welche für sich allein nicht im Stande sind, das Leben zu erhalten, erhalten eine unverkennbare Nährfähigkeit, wenn sie mit anderen Stoffen gemischt genossen werden. So ist der Leim nach MAGENDIE mit anderen Nahrungsmitteln, z. B. Fleisch (Albuminaten) genossen eine nahrhafte Substanz (Brod genüge dazu nicht), ebenso Gummi, Zucker, Fette. Ihre verschiedenartige Wirkung, z. B. auf Mästung von Thieren und Menschen, war längst praktisch festgestellt und z. B. durch PROUT in diätetische Regeln gebracht. Alle Nahrung muss für den Menschen nach ihm, wie die von der Natur als erstes und ausreichendes Nahrungsmittel dargebotene Milch, aus den beiden MAGENDIE'schen Stoffgruppen gemischt sein: den stickstofffreien, PROUT's Saccharina (Zucker, Stärke, Gummi etc.) und Oleosa (Oel, Fett), und den stickstoffhaltigen, die PROUT richtiger Albuminosa nennt (animalische und vegetabilische Albuminate). Auch die Nahrung aller Thiere enthält die Vertreter dieser beiden Stoffgruppen, ebenso die Gräser und Kräuter als die animalischen Nahrungsmittel, welche letztere zum wenigsten aus Eiweiss und Oel (Fett) bestehen.

2) Der zweite Schluss, den man daraus zog, war der, dass das Eiweiss (Albuminate) unter allen Nährsubstanzen die höchste Stufe einnehme. In ihm glaubte man das bisher gesuchte eigentliche Nutriment, die Essenz aufgefunden zu haben. Die Rolle, welche man früher dem »gährungsfähigen Schleim«, der »gallertigen Lymphe« zugetheilt hatte, wurde nun den Albuminosen, Stoffen, die im Körper alle in eigentliches Eiweiss umgewandelt werden sollten, zugeschrieben. Je leichter sie in Eiweiss umgewandelt werden könnten, um so tauglicher seien sie zur Ernährung (J. MÜLLER). Früher hatte man wohl geglaubt, dass, wie der pflanzliche, auch der thierische Organismus überhaupt die Fähigkeit zur Eiweissbildung aus einfacheren Nährsubstanzen habe. Die Untersuchungen MAGENDIE's haben diese Annahme unhaltbar gemacht. Schon MAGENDIE schloss, da der Stickstoff der Organe nur von der Nahrung stamme und die stickstofffreien Substanzen sich im Thier nicht in stickstoffhaltige umwandeln; sein grosses Verdienst ist es, mit grösserer Consequenz, als es sonst geschah, auf den Gehalt an stickstoffreichen Substanzen in den vegetabilischen Nahrungsmitteln hingewiesen zu haben, von denen Menschen und Thiere leben, wie Reis, Mais, Getreide, Kartoffeln, Zuckerrohr. Diese Ansichten über den hohen Werth der Albuminate wurden ergänzt durch die Ansicht der Anhänger der LAVOISIER'schen Lehre. Sie lehrten, dass der in der Nahrung eingeführte und in den Lungen verbrannte Kohlenstoff und Wasserstoff die Ursache der thierischen Wärmebildung sei. Die berühmten Versuche von LAVOISIER, DULONG und DESPRETZ über den Zusammenhang der thierischen Wärme mit der Aufnahme von Sauerstoff und Abgabe von Kohlensäure hatten diese Seite der Ernährungslehre experimentell neu begründet.

Durchdrungen von der Wahrheit des Satzes, dass die stickstoffreichen Eiweissstoffe der Organbildung im animalen Körper allein vorstünden, stellte BOUSSINGAULT seine Tabelle auf

über den Nahrungswerth (Heuwerth) der vegetabilischen Nahrungsmittel, vorzüglich zu landwirthschaftlichen Zwecken, in welcher die Futterstoffe nur nach ihrem Stickstoffgehalt geordnet waren, während der alte Heuwerth THAER's berechnet war nach der Menge aller löslichen Stoffe, welche aus der Nahrung in das Blut übergehen könnten.

Die allgemeinen Principien einer wissenschaftlichen Ernährungslehre waren, wenn auch nicht klar formulirt, doch aufgefunden. Aber viel fehlte, dass diese Lehren Eingang gefunden hätten in den Kreisen der Vertreter der Medicin und Gesundheitspflege, sowie der ebenfalls direct interessirten Landwirthschaft. Nirgends so schwer wie in Gebieten der praktischen, täglichen Erfahrung, die ihre Beobachtungszeit nach Jahrtausenden zählt, sind alte Vorurtheile und halbverstandene Ansichten zu bekämpfen. Ueberall fehlten in den praktischen Kreisen, wenn nicht der gute Wille, so doch die nothwendigen chemischen Vorkenntnisse, um die neuen Resultate der Forschung zu verstehen, geschweige denn anzuerkennen oder nach der von ihnen gebotenen Richtschnur zu handeln.

J. v. LIEBIG war es, der die chemisch-physiologischen Theorien sicher zu formuliren, jenen Widerstand definitiv zu brechen und den Gewinn des praktischen Nutzens für Medicin, Gesundheitspflege und Landwirthschaft aus ihnen zu ziehen verstand und lehrte.

Seine Theorie, lange ebenso angestaunt wie angekämpft, lässt sich vielleicht in Kürze zusammenfassen.

Die albuminähnlichen Stoffe, welche wir im thierischen Organismus antreffen, werden nicht in diesem erzeugt, sondern schon fertig gebildet ihm zugeführt. Auch der Pflanzenfresser erhält alle Albuminate seiner Organe aus seiner Nahrung. Aus dem Albumin entstehen die stickstoffreichen krystallinischen Zersetzungsstoffe, die sich in den Sekreten und Exkreten, sowie in den Organen selbst vorfinden. Es wird darauf hingewiesen, dass aus Eiweissstoffen den Fetten und Kohlehydraten in gewissem Sinne nahestehende Produkte oder diese selbst im Thierkörper gebildet werden können. Aus Kohlehydraten der Nahrung scheint sich im Korper Fett bilden zu können: jedenfalls wird das Fett der sich mästenden oder Milch liefernden Pflanzenfresser diesen nicht als solches in der Nahrung zugeführt.

Die stickstoffhaltigen Zersetzungsprodukte der Albuminate gehen durch den Harn ab, sie (vor Allem ihr Hauptrepräsentant, der Harnstoff) können als Maass der Eiweisszersetzung im Organismus betrachtet werden. Als weiteres Maass für die Stoffzersetzung im Allgemeinen (Stoffwechsel) kann auch die in der Athmung ausgeschiedene Kohlensäure dienen, welche die Hauptmasse des oxydirten Kohlenstoffs aus dem Körper entfernt, ebenso der zur Oxydation aufgenommene Sauerstoff.

Wir sind unter Rücksichtnahme auf die Harn- und Respirationsausscheidung (aus Haut und Lunge) im Stande, die Grösse des Stoffwechsels (Stoffverbrauchs) bei Thieren und Menschen unter verschiedenen Bedingungen der Ernährung, Lebensweise, Ruhe und Arbeit, Klima, Lebensalter zu bestimmen und daraus die Bedingungen der Lebenserhaltung durch die Nahrung bezüglich ihrer Quantität und Qualität für das gewöhnliche Leben und für besondere Fälle (Wachsthum, Krankheiten, bei Thieren Mästung, Milchbildung etc.) abzuleiten. Da uns die Körperexkrete erlauben, zu bestimmen, wie viel Stoff im Körper zersetzt worden ist, so kann durch genaue Kontrole der Nahrungseinfuhr bestimmt werden, ob die eingeführte Nahrung zum Ersatz alles in den Exkreten Ausgegebenen hinreichte, oder ob der Körper von seinen Organbestandtheilen noch zuschiessen musste, also abmagerte, oder ob er von den eingeführten Stoffen einen Theil als überschüssig zurück behielt, ansetzte.

Mit diesen Darlegungen war die Methode der Forschung auf das Wesentlichste bereichert. MAGENDIE und die anderen Experimentatoren hatten sich bei ihren Untersuchungen über die Nahrungsmittel darauf beschränkt, Gewichtsbestimmungen der gefütterten Organismen vorzunehmen, die nur im Allgemeinen den Schluss über Abnahme und Zunahme des Körpers bei einer bestimmten Kost gestatteten. Jetzt eröffneten sich tiefere Blicke in die Stoffwechselvorgänge im Organismus selbst.

Neben der Schöpfung der exakten Forschungsmethode stellte LIEBIG auch die leitenden Gesichtspunkte in der nach seinem Namen benannten Theorie kurz auf; es sind dieselben,

denen wir schon bei den Griechen und dann in allen Entwickelungsperioden unserer Lehre unter verschiedenem Gewande begegneten. Der Fortschritt besteht darin, dass nun den verschiedenen Nahrungsstoffen ihre festen Rollen zugetheilt werden.

Der Ernährungsvorgang hat zwei Funktionen zu genügen: der Organbildung und der Wärmebildung. Unter dem Einfluss ihrer Thätigkeit (Abnutzung) erleiden die Organe, indem sich Theile von ihnen mit Sauerstoff verbinden, fortwährende Verluste, die durch die Nahrung wieder ausgeglichen werden müssen. Ein Theil der animalen Wärme stammt aus dieser Organoxydation. Der grösste Theil derselben wird bei genügender Nahrung von den eingeführten Nahrungsstoffen geliefert, die im Körper unter dem Einfluss des in der Respiration aufgenommenen Sauerstoffs verbrennen.

Diesen beiden Funktionen entsprechend theilte LIEBIG die Nahrungsstoffe, abgesehen von dem nöthigen Wasser und organischen Salzen, ein in:

1) Organbildende: plastische und

2) Wärmebildende: respiratorische Nahrungsmittel.

Die plastischen Nahrungsmittel sind allein die Albuminate.

Die respiratorischen Nahrungsmittel sind vorzüglich die Fette und Kohlehydrate, doch betheiligen sich an der Wärmeerzeugung auch die anderen Bestandtheile der Nahrung (auch die Albuminate), soweit sie sich mit Sauerstoff verbinden können. Je mehr Sauerstoff ein bestimmtes Gewicht des Nahrungsstoffes in sich aufnehmen kann, desto mehr ist er fähig, die Wärmeverluste des Körpers zu decken; Fett steht in diesem Sinne vor den Kohlehydraten und Eiweiss etc.

LIEBIG setzte selbst nach diesen Gesichtspunkten die Quantitäten, die im Allgemeinen zur Ernährung nothwendig sind, für Menschen und Thiere fest. Eine grosse Anzahl von Forschern: Physiologen, Aerzte, Thierzüchter betheiligen sich mit mehr oder weniger Erfolg an der Lösung der vorliegenden Fragen.

Nachdem durch LIEBIG die Aufgabe im Allgemeinen umgrenzt und die leitenden Gesichtspunkte gefunden waren, stellte sich für die Anwendung derselben in der Praxis die Aufgabe, das im Allgemeinen Erkannte im Einzelnen noch genauer kennen zu lernen.

Im Allgemeinen soll durch die Nahrung ein Verlust des Körpers verhütet oder eine Massenzunahme seiner Organe, überhaupt eine stoffliche Veränderung in ihm hervorgebracht werden. Man muss zu diesem Zwecke den Stoffwechsel unter den mannigfaltigsten Bedingungen und Zuständen durch das Studium der Zersetzungsprodukte kennen lernen und namentlich feststellen, wie viel davon von jedem einfachen Nährstoff vom Darm aus in die Organe übergeht, welchen Einfluss auf die Umsetzung jeder derselben hat, und wie sich dann genau gekannte Gemische verhalten (VOIT).

Die Arbeiten von FRERICHS, BIDDER und SCHMIDT und TH. L. W. v. BISCHOFF sind hier zunächst zu nennen, an die sich die viel citirten Untersuchungen von BARRAL und CHOSSAT anschliessen. Nach LIEBIG's Theorie hatte man angenommen, dass der Eiweissverbrauch der Organe *nur* bei ihrer Thätigkeit erfolge. Die Untersuchung ergab, dass bei der gesteigerten Eiweisszufuhr in der Nahrung auch der Eiweissverbrauch steige. Es schien diese Beobachtung nicht mit der Theorie in Einklang zu stehen. Indem man annahm, dass nur die im Hunger zerstörte Eiweissmenge der Abnutzung der Organe entspreche, glaubte man, dass der in der Nahrung über dieses Minimalmaass zugeführte Theil des Eiweisses als zum Organersatz überflüssig, wie man sich ausdrückte, im Blut verbrenne; man nannte das *Luxuskonsumption* (cf. S. 214). Sie war im Begriff, in Vergessenheit zu gerathen, nachdem man eingesehen hat, dass die LIEBIG'sche Theorie diesen Fall als einen besonderen stets in sich geschlossen hatte und die alten Ansichten über die strenge Scheidung der organisirten und nichtorganisirten Bestandtheile des animalen Organismus sich als unhaltbar herausgestellt haben. Die flüssigen Körperbestandtheile müssen, so lange sie das Organ passiren, als Bestandtheile desselben angesehen werden; sie treten wirklich in die Organisation ein; sie betheiligen sich an der Lebensthätigkeit des Organs, ihr Zerfall steht mit dieser in directer Beziehung (cf. oben S. 125 Molekularstructur). Was hier von den Albuminaten gesagt ist, gilt

aber selbstverständlich auch für Fette und Kohlehydrate. Neuerdings liess in gewissem Sinne C. Voit die Lehre von der Luxuskonsumption in seiner Theorie vom circulirenden Eiweiss im Gegensatz zum Organeiweiss wieder erstehen.

In neuer Zeit machte die Untersuchungsmethode noch zwei wesentliche Fortschritte. Was Liebig postulirt hatte, dagegen von fast allen Experimentatoren bestritten wurde, dass aller aus dem Stoffumsatz der stickstoffhaltigen Körperbestandtheile stammende Stickstoff im Harn wiedererscheine, dass also bei Gleichgewicht der Eiweisszufuhr in der Nahrung mit der Eiweisszersetzung im Organismus aller aus der Zersetzung stammende Stickstoff im Harn wiedererscheine, wurde von Bidder und Schmidt für die Katze, von Voit und Bischoff mit aller Entschiedenheit für Hunde, von J. Ranke für den gesunden ruhenden Menschen, von Voit für die Taube, von Henneberg für Rinder zuerst nachgewiesen. Das so oft behauptete Stickstoffdeficit existirt nicht. Wo sich ein solches, bestimmte Fälle ausgenommen, in den Versuchsresultaten findet, sind die Methoden als mangelhaft zu bezeichnen. Im Stickstoff des Harns haben wir also wirklich ein Maass des Umsatzes der stickstoffhaltigen Körperstoffe. Der zweite Fortschritt ist die Ermöglichung der Bestimmung der Respirationsverluste durch v. Pettenkofer's Respirationsapparat (cf. Athmung). Wir wenden uns zur Darstellung des gegenwärtigen Standes unserer Lehre.

Das dynamische Gleichgewicht der Organe.

Wir wissen, dass während der Dauer des Lebens im Organismus nur eine scheinbare Ruhe existirt. Während wir die Gebilde der anorganischen Natur in der Stabilität ihrer Zusammensetzung mit einem Gebäude, etwa mit einer Mauer vergleichen können, an welcher alle die an ihr wirksamen Kräfte in ein stabiles Gleichgewicht gelangt sind, können wir die scheinbare Ruhe des Organismus mit dem Gleichgewichte vergleichen, welches ein mit Wasser gefüllter Trog eines laufenden Brunnens erkennen lässt, bei welchem der Wasserstand nur darum ein gleichbleibender ist, weil in Folge regulatorischer Einrichtungen in der Zeiteinheit gleichviel Wasser zu- und abfliesst. In ähnlicher Weise, wie in letzterem Falle, wechseln im thierischen Organismus beständig die Stoffe, welche ihn zusammensetzen. In der Nahrung treten neue Stoffe an die Stelle alter, verbrauchter in ihn ein, die, nachdem sie ausgedient haben, wieder von neuem Materiale ersetzt werden müssen.

Es ist ein dynamisches Gleichgewicht, in welchem der lebende Körper mit den äusseren Lebensbedingungen steht. Regulirt wird das auf dieses dynamische Gleichgewicht in seinen Leistungen basirte Getriebe von den Organen des Körpers selbst, von den Zellen, welche den Organismus aufbauen (Pflüger). Die Gesammtthätigkeiten des Organismus sind Summen, welche sich aus den Einzelthätigkeiten seiner Zellen zusammensetzen. Die einzelnen Zellen und Organe stehen aber im Gesammtkörper selbst wieder in einem dynamischen Gleichgewichte. Keine Zelle kann die Intensität ihrer Lebensthätigkeiten verändern, ohne dadurch auch die Lebensäusserungen und die denselben zu Grunde liegenden physikalischen und chemischen Vorgänge zunächst in den Nachbarzellen entsprechend umzugestalten; und da alle Zellen durch die Vermittelung des Nervensystems und des Kreislaufs unter einander zu einer höheren Einheit verknüpft sind, so sehen wir Veränderungen in den Zellen und Organen sofort Veränderungen in dem Gesammtverhalten des Organismus veranlassen, welche regulatorische Einrichtungen in entsprechende Thätigkeit versetzen. Indem die

Zelle durch Steigerung ihrer Lebensthätigkeit mehr Stoffe zersetzt und dadurch chemische Körper hervorbringt, welche Sauerstoff rasch und leicht binden, entzieht sie dem sie umströmenden Kapillarblute mehr Sauerstoff, das Blut verarmt relativ an diesem nothwendigsten Lebensbedürfniss. Die Menge Sauerstoff, welche das Blut enthält, kann durch einen Mehrverbrauch an einer Stelle rasch beeinflusst werden. Bei jedem Kreislauf wird ihm schon bei den Verbrauchsbedingungen der Organe in der Ruhe etwa 1/3 seines Sauerstoffgehaltes entzogen (Pflüger). Da die Zeit für einen Kreislauf nur etwa 20 Sekunden beträgt, so genügt eine sehr kurze Zeit, um bei gesteigertem Verbrauch und gleichbleibender Sauerstoffaufnahme in der Athmung eine relative Verarmung des Gesammtblutes an Sauerstoff zu erzeugen. Gleichzeitig tritt eine Vermehrung des Kohlensäuregehaltes, des Gehaltes an Zersetzungsprodukten der Zellenstoffe in dem Blute ein. Beide Momente verbinden sich, um die Lebensthätigkeiten aller Zellen des Organismus zu beeinflussen, aber namentlich fein reagiren auf diese Veränderungen gewisse Zellengruppen in den nervösen Centralorganen, sie gerathen durch diese Reize in erhöhte Thätigkeit, deren Resultat eine Steigerung der Athemintensität und Beschleunigung des Gesammt-Blutstroms ist. Das Blut, welches in dem in seiner Lebensthätigkeit gesteigerten Organe seinen Sauerstoff rascher verliert, strömt nun in der Zeiteinheit öfter durch die Lungen, wo es seinen Verlust ausgleicht, und kann nun, dem gesteigerten Sauerstoffverbrauch in dem Organe entsprechend, diesem in derselben Zeit durch die Beschleunigung seiner Stromgeschwindigkeit mehr Sauerstoff zuführen. Die gleichzeitig gesteigerte Lüftung in den Lungen scheidet die mehr an das Blut abgegebene Kohlensäure aus, und gleichzeitig arbeiten auch die anderen Ausscheidungsdrüsen unter der gesteigerten Circulationsgeschwindigkeit in erhöhtem Maasse. So tritt ein neuer Zustand des dynamischen Gleichgewichtes im Gesammtorganismus ein, der sich sofort wieder modificirt, wenn die Bedingungen in irgend einem Organe wieder andere werden. Analoge Regulirungen zeigen sich in vielfältigster Weise und namentlich ist hier auf die Veränderung in der Blutcirculation, Weite und Durchlässigkeit der Blutgefässe in dem arbeitenden Organ selbst hinzudeuten (cf. Thätigkeitswechsel der Organe und Blutvertheilung). Ist die Regulirung des dynamischen Gleichgewichtes zwischen Stoffverbrauch und Ersatz eine vollkommene, so zeigt sich das für das subjective Gefühl als der Zustand eines körperlichen Behagens. Sowie das Gleichgewicht irgend wie gestört wird, zeigt sich eine Störung dieses Behagens, wir haben Lufthunger oder Hunger nach fester Nahrung oder Durst. Dieses subjective Gefühl begleitet die Veränderung in dem Reizzustande jener centralen Nervenzellen, welche an sich automatisch wie ein Regulator am Uhrwerk jene Bewegungen und Thätigkeiten mit wunderbar feiner Abstufung einleiten und erhalten, welche der Organismus zur Wiederherstellung des durch die Lebensbedingungen beständig gestörten Gleichgewichtes bedarf.

Je nach der Steigerung der Lebensintensität der Zelle, d. h. des Organs, sehen wir sie mehr Stoffe verbrauchen und entsprechend mehr aus der Säftemasse, dem Blute, sich aneignen; gleichzeitig treten mehr Zersetzungsstoffe der Organe (Kohlensäure, Phosphorsäure, Kalisalze, Harnstoff etc.) in das Blut ein. Diese chemischen Veränderungen des Blutes wirken in ihrer

Verbindung oder einzeln auf regulatorische Centren ein, und diese zwingen mit steigender Gewalt den Organismus, seine Verluste durch Luft- und Nahrungsaufnahme auszugleichen, und besorgen selbst die Entfernung jener störenden Gewebsschlacken. Unser Wille vermag diese regulatorischen Thätigkeiten nur zum Theil zu unterdrücken, an sich sind dieselben unwillkürlich.

Der Stoffverbrauch findet im Organ, in der Zelle statt. das Organ, die Zelle regulirt den normalen Stoffverbrauch des gesammten Organismus.

Alle anderen auf den Stoffverbrauch von Einfluss erscheinenden Momente wirken nur in secundärer Weise im Dienste der Zelle, der Organe. Gesteigerte Athmung, gesteigerte Herzbewegung und Blutcirculation, ja sogar gesteigerte Nahrungsaufnahme mit Steigerung des intermediären Säftestromes wirken zunächst nur in diesem Sinne. Je nach der Intensität der Lebensthätigkeiten in der Zelle sehen wir in derselben Stoffverbrauch eintreten. Dieser Stoffverbrauch wird zunächst aus den die Zelle umspülenden Säften, vor Allem aus dem Blute durch Diffusion ersetzt, deren Thätigkeit wir uns im lebenden Organismus viel rascher und energischer vorstellen müssen, als unsere physikalischen Experimente es uns erscheinen lassen (cf. S. 128 ff. und unten Sauerstoffathmung). Man war früher der Meinung, die Menge des in der Athmung aufgenommenen Sauerstoffs regulire die Stoffzersetzungen im Organimus, je mehr Sauerstoff vorhanden sei, desto mehr werde verbrannt. Jetzt wissen wir, dass umgekehrt durch die Zersetzungen in den Zellen die Menge des in der Athmung aufgenommenen Sauerstoffs bestimmt wird. Wir können willkürlich den Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes durch energisches Lufteinblasen in die Lungen bis zu vollkommener Sättigung des Haemoglobins bei der Apnoe (Ewald) steigern, aber der Sauerstoffverbrauch des Organismus ändert sich dabei nicht (Pflüger). Um den Sauerstoffverbrauch zu steigern, müssen wir die Lebensthätigkeit der Zellen des Organismus steigern. Die Lebensenergie der Zellen wächst mit der vollkommeneren Befreiung von ihren Zersetzungsprodukten. Es ist für einzelne derselben direct nachzuweisen, dass sie die Stoffwechselvorgänge in den Zellen wie ihre Lebensenergie herabsetzen: ermüdende Stoffe. Das ist ein Hauptgrund, warum wir mit einer Steigerung der Circulation eine Steigerung des Stoffverbrauches des Organismus verbunden sehen, die Zellen, die Organe arbeiten dann energischer, der Stoffverbrauch in ihnen wächst und damit der Stoffverbrauch des Gesammtorganismus. So sehen wir mit einer Vermehrung der im Organismus und in den Organen kreisenden Flüssigkeiten, des Blutes und der Lymphe — mit einer Steigerung des intermediären Kreislaufs die Stoffzersetzung im Gesammtorganismus wachsen, nicht weil die vermehrte Blutmenge nun mehr Sauerstoff den Organen zuführt, nicht weil diese nun ein reichlicheres Nährmaterial, das sie zersetzen können, erhalten, sondern weil die Lebensthätigkeit der reichlicher umspülten Zellen und damit ihr Stoffverbrauch gesteigert ist. Eine Verminderung des Säftestroms wird umgekehrt von einer Herabsetzung der Lebensenergie der Zellen, und einer daraus hervorgehenden Herabsetzung des Gesammtstoffverbrauchs des Organismus begleitet.

Wenn wir also auch nicht annehmen, dass die aufgenommene Sauerstoffmenge es ist, welche die Oxydationen im Organismus regelt, so ist sie

uns dagegen ein Maass für die Energie der im Organismus verlaufenden Lebensvorgänge in den Zellen, und wir dürfen in diesem Sinne die Vermehrung oder Verminderung der Sauerstoffaufnahme durch Zustände des Gesammtorganismus oder einzelner seiner Organe, oder durch die Ernährung mit verschiedenen Nährstoffen beurtheilen. Es wird uns daher der experimentelle Vergleich der Sauerstoffaufnahme unter verschiedenen physiologischen Bedingungen sehr wichtige allgemeine Fingerzeige geben.

Die Gesetze des Stoffwechsels.

Dem Gesetze gemäss, dass mit der gesteigerten Lebensthätigkeit der Organe der Sauerstoffverbrauch und der Gesammtstoffverbrauch des Organismus wächst, sehen wir die Wirkung gesteigerter oder verminderter Muskelthätigkeit. Der Gesammtorganismus nimmt mehr Sauerstoff auf, er gibt mehr Zersetzungsstoffe ab, der Gesammtorganismus verbraucht mehr, wenn die wichtige Organgruppe der Muskeln eine gesteigerte Thätigkeit entfaltet. Bei Muskelruhe ist umgekehrt der Sauerstoffverbrauch und der Gesammtstoffverbrauch herabgesetzt, freilich nicht in dem hohen Grade, den man bei oberflächlicher Ueberlegung erwarten könnte, weil diese Ruhe doch immer nur eine relative und theilweise ist, und auch in den scheinbar ruhenden Muskeln, wie in allen scheinbar ruhenden Organen, eine fortwährende, mit Stoffverbrauch verbundene Kräfteentfaltung: Tonus, Molekularbewegung, Wärmebildung, Electricitätsentwickelung etc. stattfindet. Ganz die gleiche Beobachtung wie bei stärkerer Arbeit der Muskeln machen wir in Beziehung auf die stärkere Arbeit aller anderen Körperorgane. Wird durch den Reiz der eingeführten Nahrungsstoffe die Gruppe der Verdauungsorgane zu gesteigerter Thätigkeit angeregt, so sehen wir Sauerstoffaufnahme und Stoffverbrauch analog wie bei gesteigerter Muskelarbeit nur noch viel bedeutender ansteigen, alle Nahrungsaufnahme vermehrt daher den Gesammtverbrauch des Organismus. Aber wir sehen in dieser Beziehung die verschiedenen Nahrungsstoffe in wesentlich verschiedener Intensität den Stoffverbrauch des Organismus beeinflussen. Gehen wir von einer mittleren, für die Ernährung genügend reichlichen Nahrungsmischung aus, welche in ihrer Zusammensetzung etwa den Getreidefrüchten entspricht oder noch besser etwas reicher an Eiweiss und Fett als diese ist, so sehen wir bei einer Veränderung dieser Mischung in dem Sinne, dass dabei die Fette oder Kohlehydrate in grösserer Menge genossen werden, die Sauerstoffaufnahme und den Gesammtstoffumsatz im Allgemeinen herabgesetzt. Fett wirkt hierin stärker als die Kohlehydrate. Umgekehrt sehen wir bei einem reichlicheren Zusatz von Eiweissstoffen (auch Peptonen oder Leim) zur Nahrungsmischung die Sauerstoffaufnahme im Allgemeinen und den Gesammtstoffumsatz unter Umständen ganz enorm ansteigen. Es ist daraus klar, dass bei der Eiweissnahrung die Lebensthätigkeiten aller oder wenigstens sehr wichtiger Organgruppen bedeutend ansteigen, während auf der anderen Seite bei Fettnahrung und Nahrung mit Kohlehydraten entweder alle oder wenigstens sehr wichtige Organgruppen in ihrer Lebensthätigkeit herabgesetzt werden, verglichen mit

dem mittleren Zustande, welcher bei einer normal gemischten Nahrung eingehalten wird. Diese auf den Gesammtstoffwechsel basirte Schlussfolgerung wird durch die Beobachtung bestätigt. Wir sehen bei den beiden charakterisirten Ernährungsarten in der Thätigkeit der Verdauungsorgane, namentlich der Leber, der Beeinflussung des Gesammtstoffverbrauchs entsprechende Verschiedenheiten. Etwa $^1/_3$ des gesammten Stoffumsatzes fällt bei der Muskelruhe auf die Thätigkeit der Verdauungsorgane, unter denen die Leber die hervorragendste Rolle spielt. (Ueber Harnstoffbildung in der Leber cf. unten bei Leber Cap. VIII.) Wir sehen nun bei Fleischnahrung die Thätigkeit der Leber, der Magen- und Darmdrüsen, des Pankreas sehr bedeutend gesteigert, während alle diese Organe bei Nahrung mit Kohlehydraten und namentlich bei Fettnahrung geringere Leistungen entfalten. In Folge der gesteigerten Zellenthätigkeit und der dadurch gesteigerten Absonderung der Verdauungsdrüsen wächst die Menge der im Körper circulirenden Flüssigkeiten, Blut und Lymphe, die Circulation selbst gewinnt an Intensität und zeigt ihren die Lebensenergie aller Körperorgane hebenden Einfluss durch einen reichlicheren Stoffverbrauch in allen Organen. So wächst innerhalb weiter Grenzen mit der Steigerung des Eiweissgehaltes in der Nahrung der Stoffumsatz, namentlich der Umsatz der für das Zellenleben wichtigsten Stoffe, der Eiweissstoffe, während durch Fettnahrung und in geringerem Grade durch Nahrung mit Kohlehydraten der Gesammtumsatz und namentlich der Eiweissumsatz sinkt.

Wir verstehen nun auch die Wirkung des vollkommenen Hungers. Die Verdauungsorgane bedürfen zur Anregung ihrer Thätigkeit des Reizes der aufgenommenen Nahrungsstoffe. Im Hunger, wenn keine Nahrung aufgenommen wird, sinkt die Thätigkeit der Verdauungsdrüsen mehr und mehr, endlich wird kein Speichel, kein Magensaft, keine Galle, kein Pankreas- und Darmsaft mehr abgesondert. Mit dem mehr oder weniger vollkommenen Ausfall der Thätigkeit der Verdauungsorgane wird schon an und für sich der Stoffverbrauch sehr bedeutend reducirt werden; aber indem von Aussen her kein Nachschub neuen Materials für das verbrauchte mehr erfolgt, verarmen endlich die Reservoirs von Nahrungsstoffen, die der Organismus namentlich im Blute und in der Lymphe besitzt, und indem die Blut- und Lymphmenge mehr und mehr absolut vermindert wird, sehen wir unter der Erscheinung objectiver und subjectiver Schwäche der muskulösen und nervösen Arbeitsorgane alle Organe, alle Zellen des Organismus in höherem oder geringerem Grade in ihrer Lebensenergie herabgesetzt, wofür uns der herabgesetzte Sauerstoff- und Gesammtstoffverbrauch ein Spiegelbild ist. Der Stoffverbrauch sinkt auf eine sehr geringe Grösse herab, auf der er sich, da die reducirten Organthätigkeiten, wie wir z. B. an den Herz- und Athembewegungen sehen können, zunächst constant bleiben, eine Zeit lang erhält. Man hat sich darüber gewundert, dass man den Organismus nicht dadurch von dem Hungertode retten kann, dass man ihm so viel Nahrung reicht, als zum Ersatz seines Verbrauchs in den späteren Hungerstadien ausreichen würde. Aber Nahrungsaufnahme steigert an sich die Lebensthätigkeit der Organe, zunächst der Verdauungsorgane, und die Zersetzungen steigen entsprechend über das Maass des Hungerverbrauchs an. Der Körper verbraucht immer noch von seinen Körperstoffen zur Erhaltung seines Lebens, bis die Menge und Qualität der Nahrung der bei der Nahrungsaufnahme gesteigerten Thätigkeit der Organe

äquivalent ist, dann erst tritt Gleichgewicht zwischen Verbrauch und Einnahmen ein.

Die Lebensthätigkeiten der Zellen zeigen sich aber nicht allein in Stoffzersetzung, sondern auch in Stoffansatz, Wachsthum und Vermehrung. Ist Gleichgewicht zwischen Verbrauch durch Stoffzersetzungen und Einnahmen eingetreten, so kann nun unter Umständen auch Stoffansatz im Gesammtkörper, respective in seinen Organen, in seinen Zellen erfolgen. Es wäre aber unrichtig, wenn man glauben würde, dass durch jede Vermehrung der eben genügenden Nahrung ein Stoffansatz dieser Vermehrung entsprechend eintreten müsste. Durch die Steigerung der Nahrungsmenge wird, wie wir sahen, die Thätigkeit der Verdauungsorgane und in Folge davon der Stoffumsatz gesteigert, das ist besonders bei Eiweissnahrung der Fall. Dagegen sahen wir diese Steigerung bei Fett- und Kohlehydratnahrung viel geringer ausfallen, ja es tritt bei Ueberwiegen dieser Nahrungsstoffe eine relative Herabsetzung des Stoffverbrauchs ein. Das ist die Ursache, warum reichliche Mengen von Fett- und Kohlehydraten in der Nahrung den Stoffansatz begünstigen, bei letzteren ganz abgesehen davon, ob aus Kohlehydraten Fett im Organismus entsteht oder nicht. Die Eiweissmenge der Nahrung darf dabei aber aus naheliegenden Gründen auch nicht unter ein bestimmtes unteres Quantum herabsinken.

Aus der Darstellung ergibt sich von selbst, dass im Allgemeinen ein organreicherer Körper, ein Körper, der mehr Zellen besitzt als der andere, absolut mehr Stoffe verbrauchen wird als ein Organärmerer. Da aber die verschiedenen Organe in der Energie ihrer Lebensthätigkeit und damit im Stoffverbrauch wesentliche Unterschiede zeigen und die Organgewichte in ihrem Verhältniss bei verschiedenen Individuen schwanken, da auch unter scheinbar ähnlichen äusseren Umständen die Lebensenergie des Gesammtorganismus Schwankungen unterworfen ist, die ganz unabhängig sind von der Nahrung, so erleidet diese Regel sehr oft scheinbare Ausnahmen.

Die mechanische Ernährungstheorie.

Die Gesammtsumme lebendiger Kräfte, über welche der menschliche Organismus zum Zweck seiner mechanischen (physiologischen) Leistungen gebietet, wird ihm geliefert durch den chemischen Stoffwechsel, d. h. durch die aus den vorigen Kapiteln bekannten, mit dem Lebensvorgang aller animalen Wesen verbundenen chemischen Umgestaltungen der Stoffe, welche, aus der Nahrung stammend, die Organe und Flüssigkeiten des lebenden Körpers zusammensetzen.

Die Summe der lebendigen Kräfte, welche wir im menschlichen Organismus während einer Zeitperiode thätig sehen: Wärme, chemische Kraft, mechanische Bewegung, ist äquivalent der Spannkraftsumme einer gewissen, in letzter Instanz aus der Nahrung stammenden Menge organischer Bestandtheile seines Körpers, welche im Stoffwechsel, d. h. durch ihre »organische Oxydation« (cf. S. 60) diese lebendigen Kräfte lieferten. Der Körper lebt = arbeitet auf Kosten der Spannkräfte *aller* ihm normal zur Verfügung stehenden Stoffe.

Wenn die Gesammtsumme der vom Menschenkörper producirten lebendigen Kräfte in einer Zeitperiode wächst, so entspricht dieser gesteigerten Kraftproduktion eine in äqui-

valentem Masse gesteigerte, die lebendigen Kräfte liefernde »organische Oxydation« der Körperbestandtheile.

Dieser erste Hauptsatz der Ernährungstheorie muss als ein aus den grundlegenden Principien der Mechanik mit Nothwendigkeit sich ergebendes Axiom ausgesprochen werden. Es genügt aber für sich allein nicht, um uns durch die verschlungenen Resultate der Ernährungsversuche hindurchzuleiten. Wir bedürfen zu seiner Beschränkung und Ergänzung noch eines zweiten Hauptsatzes, welchen wir so formuliren können:

Alle innerhalb der Grenzen ihrer normalen physiologischen Lebensbedingungen und Leistungsfähigkeit (stärker) arbeitenden = lebenden Organe nehmen, genügende Nahrungsmenge und normale Ernährungsbedingungen vorausgesetzt, **an Masse zu**; alle relativ ungebrauchten Organe nehmen an Masse ab.

Der erste Hauptsatz lehrt uns, dass die verschiedenen Körperstoffe und Nährstoffe sich in Beziehung auf die Gesammtkraftproduktion des Körpers gegenseitig ersetzen, für einander eintreten können in dem Verhältniss der in ihnen enthaltenen, im Körper frei und verwendbar werdenden Spannkräfte. Wir erfahren durch ihn die Hauptquantität der für die Erhaltung der Lebensthätigkeit in einer bestimmten Zeit erforderlichen Nahrungsmenge.

Der zweite Hauptsatz zeigt uns zunächst, dass zu der von dem ersten Hauptsatz geforderten Stoffmenge unter gewissen Umständen noch eine weitere Quantität hinzukommen muss zum Aufbau der Körperorgane. Der zweite Hauptsatz ergänzt also den ersten in Beziehung auf die erforderlichen Nahrungsquantitäten; und er beschränkt ihn zugleich, indem er zeigt, dass die gegenseitige Vertretung der einzelnen Nährstoffe nur innerhalb gewisser Grenzen eintreten kann. Zum Wachsthum eines Organs ist eine ganz bestimmte Stoffmischung nothwendig. Der Hauptsache nach besteht jedes Organ des animalen Körpers aus: Eiweissstoffen, Wasser und den Blutsalzen. Diese sind die eigentlich organbildenden Stoffe; sie müssen, wenn die Ernährung eine vollständige sein soll, in jeder Nahrungsmischung in genau bestimmtem Verhältniss vertreten sein.

Hat sich in den Leistungen des menschlichen Körpers ein Beharrungszustand eingestellt, so ist innerhalb der Grenzen, in welchen sich die verschiedenen Nährstoffe mit Rücksicht auf ihre mögliche Kraftproduktion im lebenden Organismus vertreten können, die Quantität seines Stoffverbrauchs ein konstante. Seine Nahrung muss dann auch eine ganz bestimmte Quantität organbildender Stoffe — Eiweiss, Wasser, Blutsalze — enthalten. Da seine Organe bei ihrer Thätigkeit ebensoviel von diesen Stoffen verlieren, als sie durch das in Folge ihrer Arbeitsleistung eintretende Wachsthum wiedergewinnen.

Wird der Beharrungszustand gestört, arbeitet z. B. ein Organ oder eine Organgruppe mehr, während die Arbeit der übrigen gleich bleibt, so verändert sich nicht nur die für die erhöhte Gesammtkraftproduktion erforderliche Spannkraftsumme, wenn der Körper nicht an Masse abnehmen soll, also die Nahrungsmenge, sondern auch qualitativ sehen wir Veränderungen in der erforderlichen Nahrung eintreten, da die stärker arbeitenden Organe ein gesteigertes Wachsthum zeigen, welches höher ist als ihr bei der Arbeit erfolgender Verlust. Die

Summe der in der Nahrung erforderlichen organbildenden Stoffe wird dadurch erhöht. Umgekehrt ist das Verhältniss, wenn ein Organ oder eine Organgruppe weniger arbeitet, als es vorhin im Beharrungszustand der Fall war.

Bei einem Arbeiter, welcher eine regelmässig gleich bleibende Summe von Arbeit leistet, tritt ein Beharrungszustand zwischen Leistung und Stoffverbrauch ein. Arbeitet er im Ganzen (cf. unten Thätigkeitswechsel der Organe) mehr, so verbraucht er nicht nur im Allgemeinen mehr Nahrung, sondern auch im Speciellen, z. B. mehr Eiweissstoffe, vornehmlich zur Bestreitung des gesteigerten Eiweissbedürfnisses seiner stärker wachsenden Muskulatur. Ganz analog ist der Grund, warum der kindliche Organismus zu dem lebhaften Allgemeinwachsthum seiner Organe relativ mehr Eiweissstoffe bedarf, als der erwachsene. [1]

Thätigkeitswechsel der Organe. — Unter den regulatorischen Einrichtungen für den Stoffverbrauch beansprucht die abwechselnde Steigerung und Verminderung in der Thätigkeit der Organgruppen eine hervorragende Stelle. Während der gesteigerten Thätigkeit der Bewegungsorgane des Körpers sinken die Leistungen der Verdauungsorgane relativ herab, umgekehrt sehen wir bei gesteigerter Drüsenthätigkeit die Organe der Bewegung in ihrer Leistungsfähigkeit und ihren Leistungen vermindert. Dieser Veränderung entspricht eine Veränderung in der Blutvertheilung des Organismus. In der obigen Betrachtung der Regulirung des Blutzuflusses zu dem stärker arbeitenden Organe berücksichtigen wir nur die allgemeine Beschleunigung der Circulation, aber die regulirenden Momente führen auch dem arbeitenden Organe absolut mehr Blut zu, das arbeitende Organ wird blutreicher. Das kann nur bei einer gleichzeitigen Veränderung der Blutvertheilung im Gesammtorganismus eintreten, d. h. während dem arbeitenden Organe mehr Blut zugeführt wird, verarmen die übrigen Organe relativ an Blut, ein Verhältniss, das durch die dabei im Allgemeinen eintretende Beschleunigung der Blutbewegung nicht vollkommen ausgeglichen wird. Wir beobachten daher bei gesteigerter Thätigkeit der Verdauungsorgane eine objective und subjective Muskelermüdung und Ermüdung der nervösen Centralorgane, wenigstens zum grossen Theil hervorgerufen durch mangelnde Energie des Diffusionsstroms zwischen diesen Organen und den sie nun in wesentlich verminderter Menge umspülenden Flüssigkeiten, wodurch eine Anhäufung von ermüdend wirkenden Zersetzungsprodukten in Muskel- und Nervensubstanz sich ergibt. Die Lebensenergie dieser Gewebe sinkt und damit ihr Stoffverbrauch. Ganz analog ist es im umgekehrten Fall, wir wissen, dass sehr gesteigerte Muskelthätigkeit die Verdauung behindert. Nach dem oben vorgetragenen allgemeinen Gesetz der Regulirung können wir die Steigerung oder Verminderung des Blutzuflusses zu den Organen als ein Maass für die Energie der Lebensthätigkeit in denselben betrachten, und die relative Blutmenge, welche ein Organ erhält, wird uns im Allgemeinen ein Maass für den in demselben eintretenden Stoffverbrauch (cf. Blutvertheilung bei Ruhe und Bewegung der Muskulatur). Die Resultate der Bestimmung der Blutvertheilung in den Hauptorgangruppen ergeben in diesem Sinne, dass der Stoffumsatz bei Säugethieren sich vertheilt zu $^1/_3$ auf die ruhenden Muskeln, $^1/_3$ auf die Leber und $^1/_3$ auf alle übrigen Organe. Ein Resultat, welches durch directe Versuche über Kohlensäureausscheidung bei verstümmelten Thieren (Fröschen) Bestätigung fand (cf. unten Gewebsathmung).

Geschmack- und Geruchsinn dürfen unter den regulatorischen Einrichtungen für die Nahrungsaufnahme nicht zu niedrig angeschlagen werden. Hier haben wir das Mittel, um ganz speciellen Bedürfnissen des Organismus gerecht zu werden. Man hat sich hier z. B. an das Kochsalzbedürfniss, das bei Kranken ihrer Kochsalzverarmung wegen oft einen so hohen Grad erreicht, an das Bedürfniss nach Fleischsuppen bei Bevölkerungen, welche

1) Das Nähere cf. in: Die Ernährung des Menschen. Von Johannes Ranke, München. R. Oldenburg 1876.

das Fleisch gekocht geniessen, zu erinnern. Die legende Henne frisst, ihrem gesteigerten Kalkbedürfniss entsprechend, Mörtel- und Kalkstückchen.

Verbrennung im Blut. — Der alte Streit, wo die Oxydationen stattfinden, im Organ oder im Blute (cf. oben S. 205), lebte in der neuesten Zeit wieder auf. PFLÜGER hatte nachgewiesen, dass das lebende Blut eine selbständige Athmung, analog der Gewebsathmung zeige. Es nimmt geringe Mengen von Sauerstoff auf, die es verbraucht, und gibt dafür Kohlensäure ab. ALEX. SCHMIDT hat im Laboratorium LUDWIG's gefunden, dass bei erstickenden Thieren Stoffe in das Blut übertreten, welche den Blutsauerstoff binden und verbrauchen. Unter diesen Umständen findet also eine gesteigerte Verbrennung im Blute statt. Man hat auch künstlich die Stoffzersetzung im Blute durch Injection leicht oxydirbarer Substanzen gesteigert. SCHEREMETJEWSKI fand nach Injection von milchsaurem und capronsaurem Natron und Glycerin die Kohlensäureausscheidung gesteigert. Wirkungslos fand er in dieser Beziehung Zucker, doch sollen nach neueren Angaben Zuckerinjectionen die Sauerstoffmenge des Blutes vermindern. Normal aber bleibt dieser Vorgang in der Verbrennung im Blute in engen Grenzen und verschwindet fast gegen die Oxydation in den Geweben. Die theoretischen Bedenken, welche gegen eine Oxydation in den Geweben erhoben wurden, indem man die Kräfte zur Sauerstoffdiffusion aus dem Blute in die Gewebe nicht in genügendem Maasse zugegen glaubte, wurden von PFLÜGER widerlegt (cf. Sauerstoffathmung). Die Verbrennung findet in den Geweben, in den Zellen statt, die Zelle ist der eigentliche Sauerstoffkonsument im Organismus (PFLÜGER). Das Blut enthält in geringer Menge wahre Zellen, die weissen Blutkörperchen, und wird sich diesem Gehalt an Zellen entsprechend am Gesammtstoffwechsel betheiligen, ebenso die Lymphe. Die rothen Blutkörperchen scheinen im Blute selbst nur in sehr geringem Maasse am Stoffverbrauch Theil zu nehmen, anders scheint ihr Verhalten in den Blutdrüsen.

Es wurde in neuerer Zeit die Möglichkeit des Eintritts von Eiweissstoffen in die Gewebe aus dem Blute als eine nur sehr beschränkte dargestellt, so dass man, der alten Luxuskonsumption entsprechend, wieder an eine Verbrennung der Hauptmasse der Eiweissstoffe als Peptone im Blute dachte (FICK). Auch diese Anschauung widerstreitet den Beobachtungen, welche normal in dem Blute nur eine minimale Verbrennung constatiren. Derartige Annahmen scheinen vorzüglich daraus hervorzugehen, dass man sich die Bedingungen der Stoffaufnahme in die Zellen und aus den Kapillaren den Diffusions-Experimenten mit todten oder anorganischen Scheidewänden entsprechend denkt. (Abgesehen von dem Imbibitionsgesetz für lebende Gewebe (cf. S. 132), ist hier daran zu erinnern, dass die Kapillarwände selbst als Protoplasmaschläuche anzusehen sind (cf. unten bei Blutgefässe), ebenso wie eine beträchtlich grosse Anzahl der Zellen des Organismus nur Protoplasmagebilde sind ohne Membranen, z. B. die Leberzellen. Nun wissen wir, dass für die Aufnahme von Stoffen in das Protoplasma die Diffusionsgesetze auch insofern modificirt werden, dass das Protoplasma nicht nur Lösungen, sondern auch aktiv Körnchen oder Fetttröpfchen und noch leichter also Kolloidsubstanzen, wie z. B. Eiweiss, in sich aufnehmen können. Aber auch das darf nicht vergessen werden, dass die einzelne, besonders die jugendliche Zelle ebenso wie der Gesammtorganismus die Fähigkeit hat, Stoffe zu verdauen, d. h. zu lösen und chemisch so umzuändern, dass sie leichter der Diffusion unterliegen können. Der unten angegebene Nachweis von Verdauungsfermenten, die Säureproduktion der Gewebe u. a., sind in dieser Richtung zu deuten. Ueber die Verwendung der Peptone cf. unten S. 219 und an den betreffenden Abschnitten.)

Circulirendes und Organeiweiss. — BISCHOFF und VOIT, sowie PETTENKOFER und VOIT lehren, dass die Oxydationen in der Zelle stattfinden und zwar während die in der Säftemasse gelösten Stoffe die Zelle durchsetzen. Je bedeutender der Säftestrom ist, desto höher steigert sich die Zersetzung, alle Momente, welche eine Steigerung des Säftestromes bewirken, bewirken auch eine Steigerung des Stoffverbrauchs. Eiweiss steigert den Säftestrom am meisten, Fett und Kohlehydrate vermindern ihn, im Hunger ist er am unbedeutendsten; die Veränderungen des Säftestroms sind ganz in dem Sinn, in welchem

die Nahrungsverhältnisse den Stoffumsatz beeinflussen. Es ist klar, dass wir ganz ebenso gut wie die Sauerstoffaufnahme auch die Grösse des Säftestroms als ein Maass für die Lebensthätigkeit des Gesammtorganismus und seiner Zellen, den eigentlichen Regulatoren des Stoffverbrauchs, betrachten dürfen, nur müssen wir nicht vergessen, dass die Steigerung oder Verminderung des Säftestroms zunächst nur ein Zeichen einer gesteigerten oder verminderten Thätigkeit namentlich der Verdauungsorgane ist, welcher erst secundär ganz analog wie eine Steigerung der Athmung oder Beschleunigung der Blutcirculation etc. den Gesammtstoffumsatz beeinflusst.

Voit statuirt einen Unterschied in der Leichtigkeit, mit welcher geformtes und ungeformtes Eiweiss dem Stoffumsatz unterliege. Er unterscheidet zwischen dem in dem Zellenprotoplasma und seinen Derivaten geformten Eiweiss, dem Organeiweiss und dem in dem intermediären Säftestrom durch den gesammten Organismus von Zelle zu Zelle circulirenden, flüssig beweglichen Eiweiss, dem circulirenden Eiweiss, welches er früher auch als circulirenden Vorrath, oder Vorrathseiweiss bezeichnete. Die Zersetzungen des circulirenden Eiweisses treten nach Voit vorzüglich ein, wenn es mit der Säftemasse die Zellen oder Zellmembranen durchsetzt. Das aus der Nahrung in die Säftemasse aufgenommene Eiweiss circulirt mit dem schon von früher her darin enthaltenen, und ersetzt das Verlorengegangene. Sowie es einmal mit der übrigen Säftemasse gemischt ist, existirt keine Scheidung mehr zwischen den alten und neu aufgenommenen Bestandtheilen. Die neu aufgenommenen Moleküle können den nächsten Augenblick wenigstens zum Theil mit in die Zersetzung hineingerissen werden. Das im Säftestrom befindliche circulirende Eiweiss soll nun nach Voit einer sehr viel rascheren Zersetzung unterliegen als das Organeiweiss. Die geformten Protoplasmabildungen der Zellen (Organeiweiss) fallen zwar auch der Zersetzung anheim, aber es sind nach Voit bei ihnen die Stoffumänderungen unverhältnissmässig viel langsamer als bei dem flüssig beweglichen Eiweiss, welches die Zellen durchströmt. Voit berechnet, dass von seinem **Organeiweiss** täglich etwa nur 1% zerstört wird, während von seinem **circulirenden Eiweiss** täglich etwa 70% verbraucht werden. Er stützt sich dabei vornehmlich auf den minimalen Stoffverbrauch im Hunger, wo fast nur Organeiweiss zur Zersetzung übrig sei, verglichen mit dem enorm gesteigerten Eiweissverbrauch bei reichlicher Fleischnahrung, welche Steigerung unter Umständen 1000% und noch mehr betragen kann. Nach unserer oben vorgetragenen Anschauung erklärt sich der gesteigerte Verbrauch aus der gesteigerten Thätigkeit und dem dabei gesteigerten Stoffverbrauch der Verdauungsorgane, wodurch eine grössere Menge Verdauungsflüssigkeiten (Speichel, Magensaft, Galle, Bauchspeichel, Darmsaft) abgesondert wird, welche den intermediären Säftestrom anschwellen lassen, der dann wieder secundär die oben geschilderte Einwirkung auf die Lebensthätigkeiten und damit den Stoffverbrauch aller Zellen und Organe des Körpers entfaltet.

Voit hat seine Lehre in ein System gebracht, welches sich für die Erklärung der Stoffwechselversuche vielfach Eingang verschafft hat. Voit lehrt (bis zum Schluss des §.):

Die Grösse des Stoffverbrauchs wird (in der Ruhe) geregelt, 1. durch die Masse der Körperorgane: das Organeiweiss, da mehr Zellen im Allgemeinen auch mehr zersetzen; 2. durch die Masse des gleichzeitig im Organismus enthaltenen circulirenden Eiweisses. Da aber das Organeiweiss sich in viel geringerer Quantität zersetzt als das circulirende Eiweiss, so bestimmt bei Ernährungsversuchen vorzüglich das letztere die Zersetzungsgrösse. Die Menge des circulirenden Eiweisses hängt von der Nahrung ab, reine Eiweissnahrung vermehrt dieselbe am bedeutendsten; bei hungernden Thieren ist die Menge des in den ersten Hungertagen noch im Körper vorhandenen circulirenden Eiweisses von der vorausgegangenen Nahrung abhängig. Je grösser dieser Zersetzungsvorrath in der circulirenden Säftemasse ist, welcher aber niemals einige Pfunde flüssig gedachten Fleisches übersteigt, desto bedeutender ist die Gesammtzersetzungsgrösse. So kann es kommen, dass ein verhältnissmässig organarmer Körper, der also wenig Organeiweiss besitzt, bei entsprechender Nahrung ebenso viel oder mehr zersetzt als ein anderer, der ihm in ersterer Beziehung

weit überlegen ist, aber weniger circulirendes Eiweiss in sich enthält, da er in der letzten Zeit weniger oder andere Nahrung erhalten hat.

Im Hungerzustande, in welchem schliesslich der Vorrath an circulirendem Eiweiss auf ein Minimum herabgesetzt wird, kommt nun dagegen die Organmasse zur überwiegenderen Geltung. Die Organe sind, was ihre festen Theile betrifft, Reservoirs, aus denen der Organismus Stoffe in seinen Zersetzungsvorrath herein nehmen kann. Je gefüllter diese Reservoirs sind, desto mehr kann an den Zersetzungsvorrath abgegeben werden, endlich erreicht, indem nur noch Organeiweiss zur Zersetzung bleibt, die Zersetzungsgrösse des Organismus eine untere Grenze, unter welche sie nicht weiter herabsinken kann, es bleibt dann die Menge der in gleicher Zeit ausgeschiedenen Zersetzungsprodukte längere Zeit konstant, zum Beweise, dass eine kleine, aber genau bestimmte Zersetzungsgrösse für die Erhaltung des Lebens des Organismus unumgänglich nöthig ist.

Es gibt sonach ganz verschiedene Körperzustände, in welchen die Grösse der gleichzeitigen Zersetzung genau die gleiche sein kann. Man muss die Organismen je nach der Masse ihrer festen Organe: Organeiweiss und nach ihrem Zersetzungsvorrathe: circulirendem Eiweiss ins Auge fassen. Es existiren hierin die grössten Schwankungen; die mannigfaltigsten Combinationen von Organmasse und Vorrath können ein gleiches Resultat in Beziehung auf den Stoffverbrauch hervorbringen.

Wie unter Umständen — im Hunger — aus den Reservoirs der Organe Stoffe in den Verbrauchsvorrath abgegeben werden können, wobei der Organismus also an Organmasse abnimmt: abmagert, ebenso kann aus dem Vorrath an die Organe abgegeben werden, so dass der Körper organreicher: gemästet wird. Dies tritt nach den obigen Andeutungen dann ein, wenn durch Herabsetzung des intermediären Säftestroms sich ein Missverhältniss zwischen der Menge der genossenen Nahrungsmittel und der eintretenden Zersetzung zu Gunsten der ersteren einstellt.

Ist die Menge des circulirenden Eiweisses angewachsen, so ist man genöthigt, wenn der Körper nicht wieder abnehmen soll, ihm diejenige Menge Eiweiss, welche den jeweiligen Körperzustand erzeugt hat, beständig darzureichen.

Ernährungsversuche: I. Gruppe.

Die Ernährungsversuche, wie sie von Physiologen und Agriculturchemikern auf Liebig's Anregung vielfach angestellt wurden, gliedern sich theoretisch in zwei Gruppen: I. Versuche mit wechselnder Quantität und Qualität der Nahrung bei gleich bleibenden sonstigen physiologischen Lebensbedingungen resp. mit Vernachlässigung des fort und fort stattfindenden Wechsels der letzteren; II. Versuche mit möglichst gleich bleibenden Ernährungsverhältnissen und experimentellem Wechsel der sonstigen physiologischen Lebensbedingungen. Wir beginnen mit der I. Gruppe.

Eiweissnahrung.

In einem Körper, der in der vorausgehenden Ernährungsperiode viel Eiweissstoffe in der Nahrung erhalten hat, ist die Lebensthätigkeit und damit der Stoffverbrauch gesteigert. Auch die anderen Nahrungs- und Körperstoffe, z. B. das Fett, unterliegen dann einer gesteigerten Zersetzung, so dass bei sehr reichlicher Eiweissnahrung neben beschränkter Zufuhr von Fett und Kohle-

hydraten vom Körperfett zerstört, der Körper fettärmer wird (Banting, cf. unten), während bei geringer Eiweissmenge in der Nahrung und reichlichem Zusatz von Fett oder Kohlehydraten durch den umgekehrten Einfluss auf die Lebensthätigkeit eine Verminderung der Zersetzungsgrösse (der Sauerstoffaufnahme) und damit ein Ansatz von Fett (und Fleisch) erfolgen kann (Mästung).

Es ist bis jetzt noch niemals gelungen, einen menschlichen Organismus auch nur mit annähernd reiner Eiweisskost — z. B. mit fettfreiem Fleische (= Eiweiss + Leim etc.) vollständig zu ernähren.

Die tägliche Kohlensäure-Ausscheidung des erwachsenen ruhenden Menschen beträgt nach meinen mit dem Pettenkofer'schen Respirationsapparate angestellten Versuchen circa 760 Gramm oder 207 Gramm Kohlenstoff. Diese Grösse ist während der Körperruhe nur sehr geringen Schwankungen unterworfen; im Hungerzustande während des ersten Hungertages sank die Grösse auf 663 Gramm CO_2 oder 181 Gramm C, bei übermässig reichlicher gemischter Kost belief sich die Steigerung auf 926 Gramm CO_2 oder 252 Gramm C. Nehmen wir 200 Gramm C als die wahrscheinliche Respirationsausscheidung in 24 Stunden an, so bedürfen wir allein zur Deckung dieses Verbrauches 1599 Gramm fettfreies Fleisch, das bei einem Wassergehalt von 75,9 % 12,52 % Kohlenstoff enthält. Da in 100 Gramm Fleisch 3,4 Gramm Stickstoff enthalten sind, so berechnet sich der Gehalt an diesem Elemente in den 1599 Gramm Fleisch auf 54,4 Gramm. Bei der Zersetzung des Fleisches verlässt fast diese ganze N-Menge den Organismus als Harnstoff. Um für diese N-Menge das erforderliche Gewicht an C zur Harnstoffbildung zu erhalten, bedarf es einer weiteren Zersetzung von 200 Gramm Fleisch, so dass die für einen Erwachsenen zur Erhaltung für einen einzigen Tag erforderliche Fleischmenge 1800 Gramm beträgt. Wenn wir bedenken, dass im günstigsten Falle nur etwa 90 % der aufgenommenen Fleischnahrung wirklich verdaut wird, so erhalten wir für den ruhenden Menschen als erforderliches Gewicht einer ausschliesslichen Fleischnahrung für 24 Stunden 2000 Gramm, ein Arbeiter würde noch ziemlich viel mehr bedürfen (cf. unten). Diese Zahlen sind geeignet, dem Arzte einen deutlichen Wink zu geben, was er von einer alleinigen Ernährung mit Fleisch zu halten hat. Es können dadurch dem Organismus seine durch Hunger erlittenen Verluste nicht vollständig ersetzt werden.

Es ist bemerkenswerth, dass, wie oben angegeben, der Ansatz von Muskel bei Fleischkost nicht so bedeutend ist, wie man wohl glaubte erwarten zu dürfen. Bei Fleischkost ist die Eiweisszersetzung eine enorme in 24 Stunden. Während ein gesunder Mann in einem Tage etwa 37 Gramm Harnstoff ausscheidet, der grösstentheils aus dem zersetzten Eiweiss herstammt, konnte ich die Harnstoffausscheidung durch Fleischgenuss bei voller Gesundheit bis auf 86 Gramm steigern (J. Ranke).

Man nahm früher an, dass die mechanischen Arbeitsleistungen des thierischen und menschlichen Organismus in der Eiweissoxydation ihre Quelle haben, man musste dann glauben, dass ein so massenhaft Albuminate zersetzender Organismus auch die grösste Kraft müsste entwickeln können. Es ist mit Rücksicht hierauf interessant, dass die heutigen englischen Faustkämpfer wie die Preiskämpfer im klassischen Alterthume sich durch fortgesetzten fast ausschliesslichen Fleischgenuss auf ihre enorme Kraftleistung vorbereiten. Uebrigens bringt ein bedeutend gesteigerter Fleischgenuss nicht sofort das Gefühl der Kräftigung hervor.

Das erste Gefühl ist, wie ich beobachtete, eine ganz auffallende Mattigkeit und Abgeschlagenheit der Muskeln, verbunden mit nervöser Aufregung, welche sich bis zur Schlaflosigkeit steigern kann. Wir haben hierin die Wirkung der plötzlich in so grosser Menge aus den Verdauungsorganen in das Blut und von da in die Organe — Muskeln und Nerven — gelangenden Kalisalze und Extractivstoffe des Fleisches, von denen wir schon wissen, dass ihre Wirkungen den eben geschilderten entsprechen. —

Die Ergebnisse der Ernährungsversuche mit möglichst reiner Fleischnahrung, welche von Bischoff und Voit und Pettenkofer und Voit sowie von Voit allein u. a. am Fleischfresser Hund gewonnen wurden, wurden durch meine Versuche am Menschen auch für diesen grossentheils bestätigt. Nur ergibt sich der schon erwähnte Unterschied, dass es mir nicht gelang, eine vollkommene Ernährung mit Fleisch zu erreichen. Wir treffen hier offenbar auf Unterschiede der Omnivoren von den Fleischfressern in Beziehung auf die Ernährung. Der von Bischoff und Voit zu ihren Untersuchungen benutzte nur halb so schwere Hund vermochte ganz gut 2500 Gramm fettfreies Fleisch zu fressen, zu verdauen und umzusetzen; der Mensch vermag dies nicht, wenigstens nicht das untersuchte Individuum. Es tritt hier gewiss die Einwirkung der Gewöhnung des Menschendarms an gemischte und darum weniger voluminöse Kost in Wirksamkeit. Bei dem Menschen machte ich zuerst die allgemeine Beobachtung, dass bei übermässiger Fleischzufuhr von dem Eiweiss desselben im Körper eine reichliche Menge zurückgehalten werden kann, während gleichzeitig noch Fett vom Körper hergegeben wird. Diese Möglichkeit war bis dahin für andere Versuchsobjecte noch nicht festgestellt worden. Die Erklärung liegt vielleicht in dem relativen Fettreichthum des menschlichen Körpers. Voit gibt neuerdings auch für den Hund an, dass die Fleischnahrung den Körper nur dann auf seinem Bestande zu erhalten vermag, wenn derselbe schon kräftig, d. h. fettarm ist, so dass die alte Lehre, dass der Organismus allein mit Albuminaten zu ernähren sei, auch für den Fleischfresser in ihrer Allgemeinheit hinfällig erscheint. Als Versuchsbeispiel stehe hier folgender von mir an der eigenen Person angestellte 24stündige Versuch:

Anfangsgewicht rein = ohne Koth im Darm 72,927 Kilogramm
Endgewicht - - - - - 72,781 -
Differenz = Abnahme trotz der grösstmöglichen Fleischaufnahme : 146 Gramm.

Einnahmen.		N	C	Ausgabe:	N	C
1832 Gramm Fleisch	Nahrung	62,29	229,36	86,3 Gramm Harnstoff . . .	40,28	17,26
70 - Fett		0	50,27	1,95 - Harnsäure . .	0,65	0,70
3371cc Wasser.				99,00 - Koth . . .	3,26	14,88
31 Gramm Kochsalz.				In der Respiration	0	231,20
				2073cc Harn.		
				26,6 Gramm Kochsalz.		

Die Differenz in den Einnahmen und den Ausgaben = + 18,1 Gr. N. entspricht 523 Grm rohen Fleisches, die in irgend einer Form im Körper zurückgehalten, angesetzt wurden. Um die Ausgaben zu decken, mussten mit Rücksicht auf diesen Ansatz noch 25,14 Gramm Fett zersetzt werden, die vom Körper geliefert wurden. Es ergibt sich dann immer noch eine Körperabnahme von 71 Gramm durch Wasserverlust. In zwei anderen Versuchen betrug der Gewichtsverlust des Körpers namentlich durch Wasserabgabe bei übermässiger Fleischnahrung sogar: 1179 und 1089 Gramm!

An die Ernährung mit Fleisch schliesst sich die mit **Hülsenfrüchten** an. Worosdsiloff konnte an sich selbst eine vollkommene Ernährung mit Erbsen erreichen, wenn er denselben noch die erforderliche Quantität von Kohlehydraten in Form von Brod oder Zucker und Kochsalz zusetzte. (Ueber Linsenmehl cf. unten bei Krankenkost.)

Es soll hier noch darauf hingewiesen werden, dass nach den übereinstimmenden experimentellen Erfahrungen von R. Maly, Plosz, A. Gyorgyai und

Adamkiewicz u. A. die **Peptone** bei der Ernährung vollkommen die Rolle als Gewebsbildner für die Eiweissstoffe übernehmen, d. h. im Organismus in Eiweissstoffe rückverwandelt werden können. Die Gewebe verbrauchen nach direkten Versuchen die durchgeleiteten Peptone. In die Venen eingespritzte Peptone erscheinen theilweise im Harn.

Nuclein wird vom Magensaft so gut wie nicht angegriffen und erscheint in den Faeces wieder, wo es an seinem Phosphorgehalt zu erkennen ist. (A. Bókay).

Lecithin wird langsam vom Magensaft, rasch von dem fettspaltenden Pankreasferment angegriffen, es zerfällt in Glycerinphosphorsäure, Cholin und fette Säuren und wird im Darmkanal resorbirt. (A. Bókay).

Hungerzustand.

Der Hungerzustand ist von dem Zustande der Ernährung nicht principiell verschieden. Die Lymphgefässe saugen fortwährend die in den Organen vorhandenen flüssigen Nährstoffe ein und führen sie dem Blute zu. Bei der Ernährung wird ein Organ — der Darm — künstlich von aussen her mit Nährstoffen überladen, so dass er plötzlich eine so grosse Säftemasse dem Blute übergeben kann, dass man die fort und fort in analoger Weise stattfindende Ernährung des Blutes aus den anderen Organen darüber zu übersehen geneigt ist. Je nach dem wechselnden quantitativen Verhältniss der Körperorgane (Drüsenapparate und Bewegungsapparate) zu einander, welche in verschiedener Intensität (am stärksten die Drüsen) sich an dem Stoffumsatz betheiligen, je nach der eiweissreicheren oder fettreicheren Zusammensetzung der Organe, aus denen die Säftemasse ihre Speisung zieht, je nach der von einer früheren Ernährungsperiode abhängigen Lebensenergie namentlich der Verdauungsorgane (nach Voit je nach der Menge des noch restirenden circulirenden Eiweisses) muss selbstverständlich der Hungerzustand bei verschiedenen Individuen ebenso verschieden sein, wie verschiedene Ernährung. Ein hungernder Organismus, der kein Fett besässe, müsste seine täglichen Körperverluste wesentlich aus seinem Körpereiweiss und der leimgebenden Substanz bestreiten, er bedürfte dazu einer sehr grossen Menge von Stoff, ähnlich, als wollte er sich sonst durch alleinige Fleischnahrung erhalten. Je fettreicher er ist, je mehr Fett demnach dem Säftevorrath aus den Organen neben Eiweiss übergeben werden kann, desto geringer wird sein Eiweissverbrauch sein, da nun ein Theil seiner Leistungen auf Kosten des Fettes bestritten wird. Ein fettreicher Organismus verbraucht im Hunger also zuerst ein Plus von Fett, so dass sich endlich das Eiweiss-Fettverhältniss seiner Organe zu Gunsten des Eiweisses modificiren muss; schliesslich wird ein Zustand eintreten, in welchem das Eiweiss ein gewisses Uebergewicht über das Fett erhält, so dass bei lange hungernden Organismen der Eiweissverbrauch gegen den Fettverbrauch wieder etwas zunimmt, während vorher eine Reihe von Tagen hindurch der tägliche Verbrauch, also auch die täglichen Ausscheidungen durch Respiration und Nieren sich gleichmässig erhielten.

Man sieht aus dem bisher Gesagten, wie wenig wir auch für den Hungerzustand eine für alle Organismen allgemein geltende Verbrauchsregel aufstellen können. Ebenso wie bei verschiedener Nahrungszufuhr von aussen her die Umsatzverhältnisse ganz verschieden sich gestalten, ebenso müssen sie es thun,

wenn die Lebensenergie der Organe und die »innere Nahrungszufuhr aus den Organen« eine verschiedene ist. Da kein Organismus mit einem anderen in Beziehung auf seine Lebensthätigkeiten und Körperstoffverhältnisse ganz identisch ist, so ist auch der Zustand des Hungers bei jedem ein verschiedener und wird für jeden quantitativ verschiedene Folgen haben.

Der Verlust an Organstoffen, welchen der Hungernde in 24 Stunden erleidet, ist im Allgemeinen ein nur sehr geringer. Sehen wir von der Salz- und Wasserabgabe ab, welche natürlich fort und fort stattfindet, so beträgt der Körperverlust kaum ein ganzes Procent. Beobachtungen am Menschen, die uns hier vor Allem interessiren, ergaben mir, dass auf 1 Kilogramm des menschlichen Körpers am zweiten Hungertage im Mittel ein Verlust von 0.13 Gramm Stickstoff und 2.59 Gramm Kohlenstoff trifft. Diese geringen Stoffmengen, welche täglich verloren gehen, machen es verständlich, dass der thierische und menschliche Organismus, besonders wenn die Wasser- und damit auch, wegen der im Trinkwasser enthaltenen anorganischen Stoffe, die Salzaufnahme nicht gehindert ist, den Hunger so lange erträgt, so dass der Tod durch Mangel an Nahrungszufuhr allein meist erst zu Ende der dritten Woche eintritt.

Der allgemeinen Selbstverzehrung entsprechend findet sich die Organmasse der Verhungerten vermindert. Die Fettablagerungen sind geschwunden, auch die Muskeln sind sehr reducirt, während das Nervengewebe und das Herz öfters wenig Verluste zeigen. Die Blutmenge ist der allgemeinen Körperabnahme entsprechend vermindert. Der Tod tritt ein, nachdem das Körpergewicht etwa auf die Hälfte herabgesunken ist. Der Magen enthält bei verhungerten Thieren eine geringe Menge sauren Inhalts, auch Galle wird, wie F. A. Falk behauptet, noch fortwährend, jedenfalls aber in sehr verminderter Menge gebildet und in den Darm ergossen. Für den Menschen wurden von mir in einer Anzahl von 48stündigen Hungerversuchen die für den Fleischfresser gewonnenen Resultate bestätigt.

Nach den Bestimmungen Voit's, die mit älteren übereinstimmen, war der Verlust, den die Organe einer verhungerten Katze erlitten hatten, folgender: 100 Gramm Organ verloren an Gewicht:

Knochen	frisch	13,9 %	trocken	— %
Muskeln	-	30,5 -	-	30,2 -
Leber	-	53,7 -	-	56,6 -
Nieren	-	25,9 -	-	21,3 -
Milz	-	66,7 -	-	63,1 -
Herz	-	2,6 -	-	— -
Gehirn und Rückenmark	-	9,2 -	-	0 -
Fettgewebe	-	97,0 -	-	— -
Blut	-	27,0 -	-	17 -

Die Organe werden durch den Hunger wasserreicher. Bei einer verhungerten Katze war nach Voit der Wassergehalt der Muskeln bis auf 76,5% gestiegen, während er bei einer wohlgenährten Katze 74,6% betrug. Bei Fröschen sinkt nach meinen Beobachtungen die Menge fester Stoffe in den Muskeln während des Winters, wenn die Thiere keine Nahrung aufnehmen, von 21% auf 17%, während der Wassergehalt entsprechend steigt. Das Blut nimmt bei Hunger proportional dem Körpergewichte und Muskelgewichte ab (Panum). Bei winterschlafenden Murmelthieren hat C. Aeby eine Abnahme des Wassergehalts im Blut und Muskel constatirt, hier überwiegt also die Wasserabgabe durch die Ausscheidungen die Stoffzersetzung der Organe.

Der Hund, welchen F. A. Falk verhungern liess, starb, als er 48% an Gewicht verloren hatte. In den ersten Tagen des Hungers sank die Harnstoffmenge beträchtlich, in der Folge hob sie sich wieder, sodass durch mehrere Tage mehr Harnstoff ausgeschieden wurde, als am 2. Hungertage. Aus weiteren Versuchen ergibt sich, dass das nur für junge Hunde gilt, bei alten sinkt die Harnstoffausscheidung continuirlich. Bei jungen Hunden sinkt erst in den dem Hungertode vorausgehenden Tagen mit der Körpertemperatur auch die Harnstoffmenge weiter ab. Diese Erfahrungen lassen sich dadurch deuten, dass in den ersten Hungertagen vorwiegend Fett, wenn dieses verbraucht ist, eiweisshaltige Körpersubstanzen verzehrt werden. Ein Resultat, welches im Allgemeinen mit den Beobachtungen von Voit und Schmidt übereinstimmt. Der tägliche absolute Verlust an Körpergewicht ist natürlich abhängig von dem Körpergewicht des Thieres, relativ ist er um so höher, je jünger das Thier. Hunde von 18 Stunden Alter bei dem Anfang der Hungerperiode, nehmen täglich an Gewicht ab 8,57%, solche von 11¾—15¾ Tagen 4,83%, von 1 Jahr 2,73%, von 3 Jahren 1,77%, von mehr als drei Jahren 1,099%. Dem entsprechend hielt der älteste Hund den Hungerzustand am längsten aus: 61 Tage. Ganz junge Thiere sterben, wenn der Verlust etwa 25% beträgt, bei den anderen findet sich ziemlich constant die oben angegebene Verlustgrenze von 48%. Jüngere Thiere halten den Hunger also viel weniger lange aus als ältere. Analog wie die Unterschiede der Abnahme des Körpergewichts sind auch die in der Quantität der Ausscheidungen vom Alter abhängig. Die Harnstoffausscheidung betrug z. B. bei einem Hunde von 1 Jahr im Durchschnitt 1,466 Grm. auf 1 Kilo Körpergewicht, bei dem ältesten nur 0,432 Grm. Chloride, Schwefelsäure, Phosphorsäure enthielt der Harn bis zum Tode. Die Phosphorsäureausscheidung ist grösser als sie dem Verlust an »Fleisch« vom Körper entsprechen würde, sodass daraus hervorgeht, dass auch die Knochen etc. mit an dem Verlust sich betheiligen.

Langdauernde Ernährungsstörungen machen sich beim Menschen in derselben Richtung geltend. Bei einem alten an Marasmus verstorbenen Manne z. B. fand ich die festen Bestandtheile seiner Organe bedeutend vermindert und durch vermehrtes Wasser ersetzt. Zur Vergleichung stelle ich meine Beobachtungen mit denen von E. Bischoff zusammen, die er an einem gesunden Hingerichteten in mittleren Jahren gewann. 100 Gramm feuchtes Organ enthalten feste Bestandtheile.

	(nach Bischoff)	(nach Ranke)
Muskeln	I. jüngerer Mann 24,3%	II. alter Mann 15,2%
Gesammthirn . .	- - 25,0 -	- - 19,5 -
weisse Gehirnmasse	- - — -	- - 27,0 -
graue	- - — -	- - 12,8 -
Rückenmark . . .	- - 30,3 -	- - 27,1 -
Blut (normal) . .	- - 21,0 -	- - 11,0 -

Nach den Beobachtungen an Thieren leidet das Gehirn am wenigsten von der fortgesetzten Ernährungsstörung. Auch beim Menschen kann sich das Gehirn am längsten frei erhalten von den Störungen, die der Gesammtorganismus erleidet. Wir sehen bei ausgedehnten Ernährungsstörungen Krankheiten nicht selten die geistigen Thätigkeiten noch in voller Frische, während die übrigen körperlichen Functionen, z. B. Muskelleistung, ganz darniederliegen. Störungen des Gesammtorganismus zeigen sich meist erst in den weiter gehenden Fällen auf die chemische Zusammensetzung dieser Organe von erkennbarem Einfluss. So sehen wir, wie die vorstehende Tabelle ergibt, bei anhaltender Ernährungsstörung die Abnahme an festen Stoffen im Muskel und in den übrigen Organen Hand in Hand gehen mit einer wenigstens ebenso starken Abnahme an festen Stoffen im Gehirn und Rückenmark.

Die Frage, warum der Tod bei dem Verhungern eintritt, weit früher als die Organstoffe verzehrt sind, ist noch nicht vollkommen gelöst. Es scheint, dass die grosse Wasserzunahme, welche die Organe erkennen lassen, die nöthigen Oxydationen nicht mehr in vollem Maasse eintreten lässt, wie dieses auch bei der Ermüdung der Muskeln stattfindet. Ein höherer Wassergehalt ermüdet Nerven und die Muskulatur; der Schwächezustand der Hungernden ist wenigstens theilweise auf dieses Verhältniss zu beziehen. Eine solche fortge-

setzte Ermüdung oder Halblähmung der gesammten Muskulatur wird selbstverständlich alle Organfunctionen wesentlich beeinträchtigen, besonders die Herz- und Athembewegungen, so dass die grosse Reihe von Störungen, die sich hieraus secundär ergeben muss, vielleicht schon allein als Todesursache gelten kann.

Auch im Hungerzustande rufen alle Momente, welche die Lebensthätigkeit wichtiger Organgruppen erhöhen, einen grösseren Stoffumsatz hervor, wie z. B. Genuss von Salzen, reichliches Wassertrinken, Muskelarbeit, entzündliche Processe etc.

Aus meinen Hungerversuchen, an mir selbst angestellt, wähle ich einen als Versuchsbeispiel für den Menschen aus, in welchem auch kein Wasser aufgenommen wurde.

Hungerversuch.

Beginn des zweiten Hungertags Mittags, 24 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme. Das körperliche Befinden vollkommen normal, kein Schwächegefühl; die Zimmertemperatur betrug im Mittel 19,5° C. Während der Nacht der Schlaf unruhig. Am Morgen stellte sich Schwere im Kopf, Magendrücken und ziemliches Schwächegefühl ein. Das Hungergefühl zeigte sich nur bei der gewöhnlichen Zeit der ausfallenden ersten und zweiten Nahrungsaufnahme, am Ende des Versuchs ist es kaum bemerkbar.

Körpergewicht vor dem Versuch (rein) 69643 Gramm
- nach - - - 68513 - (Abnahme 1130).

Aus den Ausgaben in Harn und Respiration wurden die Stoffverluste des Körpers (Einnahmen) berechnet für 24 Stunden des zweiten Hungertags:

Ausgaben: bestimmt	N	C	Einnahmen: (berechnet)	N	C
17,025 Harnstoff . . .	7,9455	3,5654	50,7 Gramm Albumin . .	8,024	27,796
0,236 Harnsäure . .	0,0786	0,0843	198,1 - Fett . . .	0	156,7
In der Respiration . .	0	180,8500	Summe	8,024	184,5
Summe	8,024	184,5			

Der berechnete Gesammtverlust an Albumin und Fett beträgt 248,8 Gramm; dazu kommen noch 7,7 Gramm Extraktivstoffe und Salze, die im Harn ausgeschieden wurden, der Verlust an festen Stoffen beträgt sonach 256,5 Gramm, es treffen also von dem Gesammtkörpergewichtsverlust von 1130 Gramm auf Wasserverlust: 873,5 Gramm.

Ueber die allgemeinen Folgen des Hungers vergleiche man bei »Nahrungsbedürfniss«. Man hat bei Menschen noch nach langem Hunger Bestimmungen des Harnstoffs, der in 24 Stunden ausgeschieden wurde, gemacht. Ich sah seine Ausscheidung bei Kranken, die wenig oder gar keine Nahrung aufnahmen, auf 8—9 Gramm pro die sinken. Es geht die Eiweisszersetzung bis zum Hungertode fort (Lassaigne, Scherer, C. Schmidt, Bischoff u. A.). Seegen's neue Bestimmungen stehen bei »Harnstoff«.

Fettnahrung.

Reichliche Fettmengen in der Nahrung, oder im Hunger Fettreichthum der Organe, setzen den Eiweissverbrauch im Allgemeinen herab. Gleichzeitig begünstigt das Fett den Ansatz des Eiweisses. Der Eiweissverbrauch des Organismus kann aber niemals durch Fett gänzlich vermieden werden. Dieser Eiweissverlust muss auch bei Fettkost, welche den Oxydationsbedürfnissen des Organismus sonst ganz genügen würde, wieder ersetzt werden, wenn nicht langsam eine Eiweissverarmung des Körpers eintreten soll.

Bei vollkommenem Hunger verliert nach meinen Beobachtungen ein nicht fettarmer Mensch in 24 Stunden kaum mehr als 50 Gramm Eiweiss. Dadurch,

dass als Nahrung Fett gereicht wird, sinkt unter Umständen dieser Verlust noch etwas herab.

Die Ernährung nur mit Eiweiss ist der gewöhnlichen Annahme nach von der Ernährung mit Eiweiss und Fett principiell nicht verschieden. Mit dem Eiweiss führen wir nach der Meinung der Autoren implicite Fett ein, da sich, wie sie annehmen, Eiweiss im Organismus in einen oder mehrere stickstoffhaltige Substanzen und in Fett und Zucker oder andere Kohlehydrate, z. B. Glycogen) spaltet. Nach den Angaben von Pettenkofer und Voit kann Eiweiss bei seinem Umsatz im Organismus 51 — 55 % Fett liefern. Dieses aus Eiweiss abgespaltene und das in der Nahrung aufgenommene Fett verhalte sich dann für die Ernährung gleich, es könne sich unter Umständen aus Eiweiss abgespaltenes Fett im Körper ablagern: die Mästung mit Eiweiss und Kohlehydraten beruht nach Voit allein auf diesem Fettansatz aus dem Eiweiss, da die Kohlehydrate im animalen Organismus, wie er annimmt, nicht wie in der Pflanze in Fett umgewandelt werden können.

Pettenkofer und Voit geben an:

Je mehr Fett in der Nahrung genossen wird, neben einer nicht zu grossen Eiweissmenge, desto mehr Fett wird verbraucht. Ein fetter Körper zersetzt unter sonst gleichen Umständen mehr von dem zugeführten Fett als ein magerer. Ein fettarmer Körper lagert leichter Fett in den Organen ab, als ein fettreicher (beim Menschen noch nicht bestätigt). Je mehr Fett sich aus Eiweisszersetzung bildet, desto weniger Fett der Nahrung wird verbraucht. Die Masse des im Körper befindlichen Eiweisses ist von Einfluss auf die Fettzersetzung, da mehr Zellen (ein grösserer Organismus) im Allgemeinen auch mehr zerstören. Auch das Verhältniss des Organeiweisses zu dem circulirenden Eiweiss bestimmt den Fettansatz. Je grösser der intermediäre Säftestrom ist, desto mehr wird auch Fett zersetzt.

Voit erklärt die Wirkung des Fettes, Eiweiss der Nahrung zu ersparen, jetzt nicht mehr wie früher (Bischoff und Voit) dadurch, dass die stickstofffreien Stoffe als »leichter oxydirbar« den Sauerstoff für sich in Beschlag nehmen und dem Eiweiss entziehen; er behauptet nun, dass die genannten Substanzen im Körper selbst schwerer als das (circulirende) Eiweiss verbrennen. Er erklärt jetzt jenen Erfolg bedingt durch den Uebergang eines Theils des rasch sich zersetzenden »Vorrathseiweisses« in »Organeiweiss«. Während mit Eiweiss allein wegen Erzeugung von »Vorrathseiweiss« der Verlust von Organeiweiss und Fett nur schwer aufgehoben werden kann, wird bei der Zumischung einer bestimmten Menge der stickstofffreien Substanzen (z. B. Fett) das aus der Nahrung ins Blut gelangte Eiweiss zum guten Theil zu Organeiweiss, und es genügt daher eine viel geringere Menge davon, etwa doppelt so viel wie bei Hunger (für den Hund), das abgegebene Organeiweiss zu ersetzen. Nicht die absolute Menge stickstoffloser Substanz bedingt den Uebergang ins Organ oder den »Vorrath«, sondern die R e l a t i o n z u m E i w e i s s; auch bei der grössten gleichzeitigen Fettzufuhr kann das Eiweiss zum Vorrath sich mengen, sobald es in verhältnissmässig bedeutender Quantität gereicht wird. In einem fetten Körper bildet daher eine gewisse Gabe von Eiweiss fast nur Oganeiweiss, während in einem fettarmen vor Allem der »Vorrath« vermehrt wird und zuletzt auch die grösste Menge Eiweiss nicht mehr zur Deckung des Organeiweissverlustes hinreicht. Der Arzt, welcher einen namentlich an Fett heruntergekommenen Reconvalescenten wieder in die Höhe zu bringen hat, muss der richtigen Beimischung von Fett und Kohlehydraten zum Eiweiss das höchste Augenmerk schenken; eine einseitige (alleinige) Vermehrung des »Eiweissvorrathes« könnte den von der Krankheit Erstandenen dem Hungertode weihen, wie Voit sich drastisch ausdrückt. —

Die Erklärung der Fettwirkung aus der Verminderung der Lebensenergie des ungenügend und unzweckmässig ernährten Organismus ist oben angedeutet. Ein fettreicher, gemästeter Organismus hat sehr viel weniger Blut als ein fettärmerer, muskelreicher (J. Ranke). Mit der abnehmenden Blutmenge nimmt der intermediäre Kreislauf, die allgemeine Lebensthätigkeit ab. Eine einseitige Fettaufnahme in der Nahrung wirkt in gleichem Sinne. Wir sehen durch einseitige Fettnahrung den Säftestrom durch die Verdauungsdrüsen, namentlich die Leber

die Gallebildung, sinken, ebenso der Saftestrom (Milchabgabe in der Milchdrüse), die Lebensthätigkeit der Drüsen, des Blutes, der Muskeln (Herz) wird herabgesetzt. (Ueber Nuclein und Lecithin cf. Eiweissnahrung.)

Ernährung mit Zucker, Stärke und Leim.

Fast alles, was von der Wirkung des Fettes in der Nahrung neben Eiweiss gesagt wurde, lässt sich auch auf den Zucker anwenden. Auch er kann Eiweiss ersparen in dem auseinander gesetzten Sinne. Der Zucker ist insofern noch von weiterer Bedeutung, als er auch das Fett des Körpers zu ersparen vermag. Er ist daher, wenn ein Fettansatz gewünscht wird, ein zweckmässiger Zusatz zur Nahrung. Doch bedarf es dazu, dass der Zucker den Umsatz soweit herabdrücken soll, dass der Ersatz durch die Nahrung ausgeglichen und kein Fett vom Körper mehr verbraucht wird, grösserer Mengen als vom Fett. Zwei Theile Stärke oder Zucker leisten nach Pettenkofer und Voit im Körper des Fleischfressers das Gleiche wie ein Theil Fett (genau ist das Verhältniss wie 100 : 170), was mit Liebig's älteren Angaben ziemlich übereinstimmt. Indem Letzterer nach dem Sauerstoffverbrauch zur Verbrennung einer gleichen Substanzmenge die verschiedenen Stoffe klassificirt, kommt er zu folgenden Relationen: es entsprechen sich für die Wärmearbeit des Organismus: 100 Fett, 240 Stärkemehl, 249 Rohrzucker, 263 Trauben- und Milchzucker, 770 frisches fettloses Muskelfleisch.

Diese Zahlen sind aber experimentell für die Ernährungslehre zu modificiren, da die Bedingungen des Zerfalls für die genannten Stoffe im Organismus ziemlich verschiedene zu sein scheinen von denen ausserhalb desselben.

Das Stärkemehl hat in der Nahrung ziemlich die gleiche Bedeutung wie der Zucker. Wir werden erfahren, dass es durch die Verdauungsorgane in Zucker verwandelt wird und also im Organismus nicht als Stärkemehl, sondern als Zucker zur Wirksamkeit kommt.

Auch Pflanzenschleim und arabisches Gummi werden von dem Organismus reichlich (54—79%) resorbirt und verwerthet (Voit).

Leim und alle leimgebenden Gewebe werden verdaut und für die Ernährung verwerthet: von letzteren am besten Bindehäute und Sehnen, dann Knorpel, am wenigsten Knochen (Etzinger, Voit u. A.).

Voit lehrt über den Leim: er sei im Stande, »statt des circulirenden Eiweisses sich zu zersetzen und dadurch dieses zu ersparen und auch den Untergang von Organeiweiss zu beschränken. Er vermag jedoch kein Organeiweiss zu bilden und ist daher ohne Eiweiss zur Ernährung untauglich«. Man hat in der Ansicht über die Verwendbarkeit des Leimes zur Ernährung vielfach geschwankt. Grössere Mengen von Leim stören die Verdauung und ohne Eiweisszusatz zur Nahrung gehen die damit gefütterten Thiere an »Eiweisshunger« zu Grunde. In mässigen Quantitäten genossen ist er besonders seiner Billigkeit wegen ein nicht zu unterschätzendes Nahrungsmittel. Eine Zumischung von Leim aber zum käuflichen Fleischextrakt lässt diesen leichter faulen, und indem der sehr billig zu liefernde Leim das Gewicht der theuren Nährsalze nur scheinbar vermehrt, verringert er entsprechend den wahren Werth des Extrakts (über Bouillontafeln cf. oben). In dem Blut bei Leimfütterung gestorbener Thiere findet sich Leim (Hofmann). Cl. Bernard sah bei Leiminjection in das Blut Leim im Harn auftreten.

Alle anderen oxydirbaren, in der Nahrung und in der circulirenden Säftemasse vor-

kommenden organischen Stoffe haben einen analogen Werth wie die letztgenannten. Sie dienen mit zur Ersparung anderer Materien im Stoffwechsel, doch ist ihre Wirkung, ihres verhältnissmässig grossen Sauerstoffgehaltes wegen, geringer.

Hierher sind die Extraktivstoffe des Fleisches zu rechnen, welche theilweise im Organismus noch weiter oxydirt werden. Das elastische Gewebe des Fleisches kann für den Menschen seiner Unlöslichkeit in den Verdauungssäften wegen wohl nicht zur Ernährung dienen, Hunde scheinen es theilweise zu verdauen (Voit).

Den Extraktivstoffen des Fleisches analog verwerthet der Organismus für seine Ernährungszwecke zum Theil die nicht giftigen stickstoffhaltigen Pflanzenbasen und die organischen, sauerstoffreichen Säuren in Verbindung mit Alkalien.

Dass Pflanzenfaser (Cellulose) von den Wiederkäuern in ziemlicher Menge verdaut werde, wurde oben S. 183 angeführt.

Zur Aufnahme der stickstofffreien Substanzen in den Organismus und zu ihrer Ausnutzung, überhaupt zur Ausnutzung der Nahrung ist eine gewisse Menge einer **an Eiweiss reichen Substanz** in der Nahrung erforderlich. Die betreffenden Beobachtungen wurden bei der Fütterung der Hausthiere zu landwirthschaftlichen Zwecken (Mästung) gemacht. Wenn Haubner Hämmeln 14 Tage nur Kartoffeln gab, so kamen sie ausserordentlich herunter, weil ein ansehnlicher Theil der Kartoffeln unverdaut wieder abging; sobald er aber etwas eiweissreiches Futter, z. B. Erbsen zusetzte, kam auch das Stärkemehl der Kartoffeln grossentheils zur Ausnutzung. Auch Boussingault beobachtete, dass seine Schweine bei Fütterung mit Kartoffeln, in denen die beiden Klassen der Nährstoffe sich verhalten wie 1 : 8,7, an Gewicht abnahmen, bei einem Zusatz von Roggen, Erbsen, Molken etc., wodurch das Verhältniss der Albuminate zu den stickstofffreien Futterstoffen wie 1 : 5,5 wurde, sich mästeten. J. Lehmann machte die gleiche Beobachtung wie Boussingault; er fand weiter, dass seine Schweine bei einem Verhältniss wie 1 : 3 an Gewicht wieder abnahmen (cf. Verdaulichkeit).

Als Beispiel der Ernährung eines Menschen mit stickstofffreier Kost stehe hier ein an mir selbst angestellter Versuch von 24stündiger Dauer:

Einnahmen:	N	C	Ausgaben:	N	C
150 Gramm Fett	0	101,91	17,1 Gramm Harnstoff	7,98	3,42
300 – Stärke	0	114,50	0,54 – Harnsäure	0,18	0,19
100 – Zucker	0	38,27	95 – Koth	—	18,79
Summe	0	254,68	In der Respiration	0	200,5
			Summe	8,16	222,9

Es wurde Wasser getrunken . 1321cc
Harn entleert 578cc
Das Anfangskörpergewicht (rein) 72425 Gramm
– Endkörpergewicht – 72722 –

Es hatte also eine Zunahme um 297 Gramm stattgefunden. Diese Zunahme besteht theils in Fettansatz, theils in Wasseransatz, der Körper wird auch nach den Beobachtungen Anderer bei stickstofffreier Kost wasserreicher. Der ausgeschiedene Kohlenstoff stammt theils von dem zersetzten Körpereiweiss, theils aus der Nahrung. Das zersetzte Albumin beträgt trocken (für 8,16 N) 51,55 Gramm. Rechnen wir seinen Kohlenstoff (28,27 Gramm) zur Ausscheidung des Gesammtkohlenstoffs, so bleiben 64 Gramm Kohlenstoff im Körper zurück entsprechend 81,5 Gramm Fett. Der Körper hat sonach 51,5 Gramm Eiweiss verbraucht, dafür 81,5 Gramm Fett angesetzt, 30 Gramm mehr als er an festem Stoff verbrauchte; da er aber nur um 297 Gramm an Gewicht zunahm, so beträgt, abgesehen von den Salzen, die nur eine sehr kleine Correction bedingen, für Wasseransatz noch 267 Gramm. Der Versuch zeigt recht deutlich, wie die blosse Zunahme an Gewicht noch nicht sicher ein Zeichen von Zunahme der wesentlichen Organbestandtheile ist. Bei Fleischnahrung sehen wir z. B. dagegen das Gewicht sehr bedeutend bis über 1 Kilogramm in 24 Stunden abnehmen, obwohl reichlich (über 500 Gramm) »Fleisch« im Körper zurückgehalten worden war.

R. BOHM und F. A. HOFFMANN gaben wichtige Beiträge zur Kenntniss des **Kohlehydratestoffwechsels** des Gesammtthieres und seiner Organe. Ihre Untersuchungen beziehen sich lediglich auf Katzen. I. Der Kohlehydratbestand des Körpers der normalen Katze. Bei ausschliesslich mit Fleisch gefutterten Katzen enthalten Glycogen und Zucker: Blut, Leber und Muskeln in grösseren Quantitäten, woneben der Glycogengehalt der übrigen Organe (Nieren) verschwindet. Der Zuckergehalt des Blutes der Katze beträgt im Mittel 0,15 %, erst bei längerem Hunger sinkend und endlich verschwindend. Der Zuckergehalt der Leber beträgt für 1 Kilo Körpergewicht constant 0,5—0,6 Grm., während der Glycogengehalt der Leber von 1,4—10,9 % des Lebergewichts schwankt. Der Gesammtbestand an Kohlehydraten fleischgefutterter Katzen beträgt 1,5—8,5 Grm. per 1 Kilo Körpergewicht. Füttert man Katzen nach mehrtägigem Hunger mit Fleisch, so enthalten die Lebern reichlich Glycogen, sowie die Thiere beginnen, Fett anzusetzen, verschwindet das Glycogen. Der Glycogengehalt der Muskeln beträgt im Ganzen bei normalen Thieren etwas weniger als die Hälfte der Gesammtglycogenmenge des Thieres. II. Fesselungsdiabetes der Katze. Nach Fesselung folgt constant reichliche Zuckerausscheidung im Harn, bei tracheotomirten Thieren mehrere Stunden (3—13) andauernd, auch nach längerem (3—8tägigem) Hunger. III. Der Verbrauch der Kohlehydrate bei Wärmeentziehung. Gefesselte tracheotomirte Katzen, welche sich (bis 25° C.) abkühlen, zeigen nach ihrem Verenden keine Spur von Kohlehydraten in den Organen mehr, ähnlich wirken nach Cl. BERNARD andere mit Temperaturabnahme verknüpfte Todesarten, auch Eintauchen in Eiswasser. IV. Nach Rückenmarksdurchschneidungen (innerhalb der 5. Cervicalwurzel) der gefesselten tracheotomirten Thiere tritt auch Zucker im Harn auf (Fesselungsdiabetes), wobei die Thiere auch stark abkühlen (auf 20—19° C.), hierbei bleibt eine beträchtliche Glycogenmenge im Körper zurück, merkwürdigerweise ist aber der Glycogengehalt der Leber = 0, während der der Muskeln sich gegen die Norm vermehrt zeigt, von normal 0,25 % auf 0,4 %, wohl in Zusammenhang mit den fehlenden Muskelbewegungen.

Einfluss anorganischer Stoffe und der Extraktivstoffe auf die Ernährung.

Die Arbeit der Verdauungsorgane an sich steigert die Stoffzersetzung mit dem Sauerstoffverbrauch des Organismus. Alle Stoffe, welche, auch ohne Nährmaterial dem Organismus zuzuführen und auch wenn sie unverändert den Organismus passiren, vermehren die Peristaltik der Gedärme und steigern dadurch den Stoffverbrauch und die Sauerstoffaufnahme; v. MEHRING und N. ZUNTZ haben darüber beweisende Versuche an hungernden Kaninchen mit Darreichung von schwefelsaurem Natron etc. angestellt. Ein anderer Factor, welcher durch Erhöhung der Arbeitsleistung des Organismus den Stoffwechsel steigert, ist die Diffusion zwischen Geweben und Ernährungsflüssigkeit, welche z. B. durch Aufnahme von Salzen erhöht werden kann.

Das Kochsalz vermehrt den Eiweissumsatz im Organismus (VOIT) und zwar darum, weil es zunächst die Thätigkeit der Verdauungsorgane und dadurch den intermediären Stoffkreislauf, die Geschwindigkeit des Diffusionsstroms von Zelle zu Zelle steigert (cf. oben). Es wirkt (nach VOIT) das Kochsalz im Organismus wie ausserhalb desselben bei künstlich angestellten Diffusionsversuchen. Eine durch eine Membran verschlossene Röhre, in die man eine Kochsalzlösung hereingebracht hat, saugt, wenn man sie ins Wasser herein senkt, mit grosser Kraft Wasser an; das Salz in der Röhre wirkt wie eine Pumpe. Die gleiche Wirksamkeit entfaltet es im Organismus; es verdankt seine nützlichen Wirkungen für den Körper vor Allem seiner Eigenschaft, die Bewe-

gung der Flüssigkeit von Zelle zu Zelle, von Organ zu Organ einzuleiten (cf. dagegen unsere Darstellung der Hydrodiffusion). Es ist von selbst einleuchtend, dass dasselbe für alle krystallisirbaren anorganischen, die Diffusion anregenden Körper- oder Nahrungsbestandtheile gilt; sie werden die gleiche Wirkung wie das Kochsalz entfalten.

Aus meinen Diffusionsbeobachtungen am Muskelgewebe geht hervor, dass auch die leicht diffundirbaren Zersetzungsprodukte des Eiweisses (Harnstoff, Kreatin, Kreatinin etc. etc.) oder der Kohlehydrate (Milchsäure und die anderen im Muskelsaft aufgefundenen organischen Säuren etc.) die gleiche Rolle spielen. Auch sie steigern, wenn sie in grösserer Menge vorhanden sind, den Diffusionsstrom in den Organen. Dasselbe leistet indirect mechanische Arbeitsleistung der Muskeln und Nerven. Durch energische Muskelarbeit wird der Stoffumsatz, namentlich der Umsatz stickstofffreier Stoffe, sehr bedeutend gesteigert. Auch diese Steigerung geht direct mit einer Steigerung des Diffusions-Säftestroms einher. Ein Muskel, der durch angestrengte Arbeitsleistung sich mit Zersetzungsprodukten seiner Substanz beladen hat, pumpt aus den ihn bei seiner Thätigkeit reichlicher umgebenden Flüssigkeiten Wasser in sich ein und wäscht dadurch jene ihn ermüdenden Stoffe aus sich heraus. Wie im Muskel findet auch in den übrigen Organen der gleiche Vorgang unter den gleichen Bedingungen statt.

G. Bunge gibt nach Livingstone an, dass fleisch- und fischessende Völkerschaften kein Salzbedürfniss haben sollen (?), während solche, die auf rein vegetabilische Nahrung angewiesen sind, unter Salzhunger leiden.

Die Wirkung der »ungeformten Fermente« ist nach O. Nasse eine verschiedene, je nach dem Salzgehalt der Lösung. Verschiedene Salze wirken hierin sehr verschieden. Physiologisch wichtig ist das Ergebniss, dass die zuckerbildende Wirkung des Speichels auf Stärkemehl bei einem mässigen Gehalt der betreffenden Flüssigkeiten an Kochsalz etwa bis zu 4% stärker ausfällt, während sie bei weiter gesteigertem Salzgehalt sinkt.

Auch durch Wasserzufuhr wird die Stoffzersetzung im Organismus vermehrt, aus dem gleichen Grunde, den wir bei der durch Kochsalz gesetzten Steigerung des Umsatzes schon erkannten, nämlich dann, wenn durch das Wasser der Diffusionsstrom auf eine höhere Stärke gehoben wird. Die gegentheilige Wirkung findet sich ein, wenn Wasser in den Organen gleichsam stagnirt, so dass sie an Wasser reicher sind, ohne dass sie gleichzeitig eine genügende Salzmenge zur Bewegung desselben in sich enthalten. So findet sich nach ermüdender Muskelbewegung der Muskel wasserreicher. Es hindert dann das Wasser die Stoffzersetzung und ist in diesem Falle eine Hemmungsvorrichtung der Stoffzersetzung (J. Ranke). Durch Wassertrinken kann die Harnstoffausscheidung, die wir als ein Maass des Eiweissverbrauches im thierischen und menschlichen Körper ansehen, nicht unbedeutend vermehrt werden.

Die Anregung der Diffusion im thierischen Organismus ist nur eine der wichtigen Seiten der Wirkung der anorganischen Bestandtheile der Nahrung. Wir haben schon die Wichtigkeit der Kalisalze und Phosphorsäure für die Organzusammensetzung kennen gelernt. Für die Pflanzen ist es zunächst durch Liebig) erwiesen, dass die Stoffbildung, und zwar besonders von Eiweissstoffen, nicht ohne die Kalisalze vor sich gehen könne, dass überhaupt das

Wachsthum und die Zunahme der Pflanze an Masse wesentlich an die Anwesenheit der Kalisalze in der Pflanzennahrung geknüpft ist. Die Beobachtungen über die wichtigen physiologischen Wirkungen der Kalisalze, vor Allem der phosphorsauren, haben darauf hingedeutet, dass diese Stoffe, die von den organischen Geweben s. v. v. mit Begierde aufgenommen werden, auch für die thierische Ernährung von der grössten Wichtigkeit sein möchten. Durch die Untersuchungen Kemmerich's ist es erwiesen, dass die Kalisalze des Fleisches, in der Nahrung genossen, z. B. in der Fleischbrühe, einen sehr bedeutenden Einfluss auf die Organbildung, zunächst Fleischbildung haben. Unter der Wirkung von Kalisalzen hat dieselbe Ernährung einen höheren Erfolg als ohne dieselbe. Bei dem oben S. 133 dargelegten Imbibitionsgesetz der Organe wurde auf eine mögliche Erklärung dieser merkwürdigen Beobachtung hingewiesen. Aehnlich wie Kalisalze scheinen auch organische Extraktivstoffe des Fleisches zu wirken, wenigstens wirkte in Kemmerich's Versuchen das »Fleischextrakt« bedeutender, als seinem Gehalt an Kalisalzen allein entsprochen haben würde. Dadurch bekommen wir einen neuen Einblick in die Gesetze, welche den Ernährungswerth der einzelnen Nahrungsstoffe regeln. Die letztgenannten Stoffe, welche den Fleischansatz begünstigen, wirken ganz analog wie das Fett, die Kohlehydrate und der Leim, sie begünstigen den Fleischansatz, trotzdem sie für sich betrachtet den Gesammtstoffumsatz erhöhen. Diese Erfahrung ist ganz analog der oben angeführten der Thierzüchter, nach welcher Eiweiss, das für sich allein den Stoffwechsel steigert, den »Ansatz« ermöglicht. Der Kaligehalt des Bieres, der Molke, Milch erlangt durch diese Betrachtungen eine sehr beachtenswerthe Bedeutung.

G. Bunge studirte die Menge (der Chlorverbindungen) der Alkalien im thierischen Organismus und in seinen Nahrungsmitteln. Der Natrongehalt ganzer Säugethiere schwankt, auf 1 Kilogramm Körpergewicht berechnet, zwischen 1,63—2,666 Grm. Der Kaligehalt ist etwas höher 2,605—3,280 Grm. Die Milch zeigt einen ganz analogen Gehalt an den beiden Alkalien, dagegen zeigen sich die vegetabilischen Nahrungsmittel relativ ärmer an Natron, woraus sich das lebhafte Bedürfniss nach Kochsalz (Livingstone) bei ausschliesslicher Pflanzenkost erklärt. Am reichsten ist relativ die Kartoffel an Kalisalzen.

J. Forster konnte mit möglichst salzarmer Nahrung Tauben bis zu 29, Mäuse bis zu 30, Hunde bis zu 36 Tagen am Leben erhalten. Die Organe und das Blut halten auch bei Mangel in der Nahrung sehr hartnäckig einen gewissen Gehalt an Mineralien zurück. Bei Chlorhunger tritt beim Hund endlich ein Zustand ein, in welchem keine Salzsäure im Magen mehr ausgeschieden und die Nahrung unverändert ausgebrochen wird. Endlich sterben die Thiere ohne Abnahme an Fleisch und Fett unter Anzeichen von Störungen im Nervensystem, Lähmungen. Auch aus Schenk's Versuchen geht hervor, dass der Organismus das Chlor hartnäckig festhält. J. Forster constatirte (gegen Weiske), dass bei kalkarmer Nahrung der Organismus, namentlich aber die Knochen an Kalkerde verarmen.

Säftestrom im Fieber. — Eine Vermehrung des Stoffumsatzes und damit des Säftestroms tritt auch im Fieber ein, so lange dazu eine genügende Wassermenge im Körper vorhanden ist (v. Gietl). Die Fiebererscheinungen werden durch die Steigerung der Zersetzungen erhöht. Fehlt dem Organismus eine genügende Wassermenge zur Bildung eines grösseren Säftestroms, z. B. nach Blutverlusten, wässerigen Darmentleerungen in der Cholera, starkem wässerigen Erbrechen etc., so sehen wir die Erscheinungen des Fiebers herabgesetzt oder bei sehr vermindertem Säftestrom sogar gänzlich verschwinden, mit einem Ansteigen des Wassergehaltes des Organismus kehrt das Fieber zurück (v. Gietl).

Seegen sah bei einer Vermehrung der Wasserzufuhr von 500—1800cc bei einem reich-

lich mit Fleisch gefütterten Hund nur einen ziemlich geringen Einfluss auf die Stickstoffausscheidung im Harn. Klein und Verson konnten die Angabe Voit's, dass Kochsalzgenuss den Eiweissumsatz steigere, nicht bestätigen.

A. Fränkel führte den Nachweis, dass verminderte Sauerstoffzufuhr zu den Geweben den Eiweisszerfall im Organismus steigert. Er denkt dabei an ein rascheres »Absterben« der weniger Sauerstoff erhaltenden Gewebe. Wird die Athmung mechanisch behindert, so steigt die Harnstoffausscheidung manchmal um mehr als das Doppelte an, ähnlich nach Kohlenoxydgasvergiftung und Aderlassen, welche die Blutkörperchenanzahl oder ihre physiologische Wirksamkeit vermindern, die Athmung herabsetzen. Auch bei Diabetes ist die Sauerstoffaufnahme vermindert (cf. unten), was vielleicht mit dem gesteigerten Gewebszerfall in ursächlicher Verbindung stehen mag. Auch erhöhte Temperatur wirkt in diesem Sinne.

Ernährungsversuche: II. Gruppe.

Die II. Gruppe der Ernährungsversuche umfasst jene, bei welchen bei möglichst gleichbleibenden Ernährungsverhältnissen ein experimenteller Wechsel der sonstigen Lebensbedingungen angestrebt wurde. Unter diese Gruppe fallen jene Versuche, bei welchen der Einfluss äusserer Agentien: z. B. Wechsel der Temperaturen, der Beleuchtung auf die Grösse des Stoffumsatzes geprüft wurden. Daran schliessen sich an die Experimente über Stoffwechsel bei Muskelruhe und Muskelarbeit, sowie bei verschiedener Organzusammensetzung des Körpers, z. B. in den verschiedenen Lebensaltern und Geschlechtern etc.

Das allgemeine Resultat dieser Versuche lässt sich darin zusammenfassen, dass alle jene Zustände, welche mit einer Steigerung der Gesammt-Arbeitsleistung des Organismus verbunden sind, mit einer Erhöhung des Stoffverbrauches, z. B. Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe einhergehen, das Nahrungsbedürfniss sonach erhöhen. Sehr klar tritt dieses Verhältniss bei den Beobachtungen über die Temperatureinflüsse hervor, welche von Pflüger u. A. eingehender untersucht wurden. (Näheres im XIV. Cap. Athmung.)

Einfluss der Temperatur des Organismus auf seinen Stoffumsatz.

Die grundlegenden Versuche über Stoffwechsel bei verschiedener Körpertemperatur wurden von Pflüger mit Hugo Schulz an kaltblütigen Thieren (Fröschen) ausgeführt, deren Körpertemperatur mittelst eines durch den Mund in den Magen eingeführten Thermometers gemessen wurde. Es zeigte sich eine vollkommene Abhängigkeit der Kohlensäure-Ausscheidung von der Temperatur des Körpers: bei 1° C. Körpertemperatur fast = 0, ist sie bei 33—35° der des Menschen gleich. Sie fanden, meist an den gleichen Thieren experimentirend, folgende auf 1 Kilo und 1 Stunde berechnete Werthe für die CO_2-Ausscheidung:

zwischen	1,0—15,8°	. . .	0,0084 bis 0,0964 Grm.
-	17,0—25,5°	. . .	0,0822 - 0,1706 -
-	33,0—34,2°	. . .	0,5495 - 0,6096 -

Mit der Zunahme der Körpertemperatur sehen wir also eine Zunahme des Stoffwechsels eintreten. Mit Colasanti setzte Pflüger

diese wichtigen Untersuchungen an Warmblütern, Meerschweinchen fort. Um zunächst die Frage zu entscheiden, ob die Constanterhaltung der Körpertemperatur bei Warmblütern bei niedriger Aussentemperatur nur auf Regulirung der Wärmeabgabe oder gleichzeitig auf Steigerung der Wärmeproduktion beruhe, variirte er die Umgebungstemperaturen nur soweit, dass die im Rectum des Versuchsthieres gemessene Körpertemperatur unverändert blieb. Die Hauptresultate der Untersuchung sind folgende: 1) Meerschweinchen verbrauchen unter normalen Verhältnissen für 1 Kilo Thier und 1 Stunde bei 18,0° C. Lufttemperatur 1110,5^{cc} O und geben ab 964,9^{cc} CO_2. 2) Bei Abnahme der Lufttemperatur verbraucht 1 Kilo Meerschweinchen für je — 1° C. mehr O 37,7^{cc}, producirt mehr CO_2 34,2^{cc}. 3) Diese Steigerung des Stoffwechsels verläuft äusserlich ohne wahrnehmbare Erscheinung. 4) Diese durch Kälte hervorgerufene Steigerung des Stoffwechsels kann so bedeutend werden, dass im Verlauf einer Stunde die Körpertemperatur beträchtlich zunimmt. Der Stoffumsatz ist dabei nur erhöht, nicht (wesentlich) qualitativ verändert. Dieses Ansteigen des Stoffumsatzes bei Kälte ist bei kleinen Thieren wegen ihrer grösseren Oberfläche bedeutender, als bei grösseren. Colasanti hatte seine Versuche im Sommer angestellt. Mit Finkler bearbeitete Pflüger den gleichen Gegenstand im Winter. Auch in diesen Versuchen wurde konstatirt, dass die Eigentemperatur der Thiere sich bei kalter Aussentemperatur nicht wesentlich verändere, sie erhöht sich gelegentlich um Bruchtheile eines Grades, dagegen steigt die Sauerstoffaufnahme und die Kohlensäureabgabe, resp. der Stoffwechsel bei Kälte event. bis auf das Doppelte an. Finkler fand dabei unabhängig von der Aussentemperatur die Körpertemperatur seiner Meerschweinchen im Winter um 0,9° C. höher als Colasanti im Sommer, dem entsprechend auch den Stoffwechsel im Allgemeinen um etwa 23 %, gesteigert. Einen derartigen Einfluss des Winters, unabhängig von der gerade das Thier umgebenden Temperatur, hatte schon Senator aber nur an regelmässig genährten, nicht an hungernden Thieren beobachtet. Die Frage, ob der Organismus im Winter, den eben angegebenen Verhältnissen entsprechend, im Ganzen mehr Stoff verbraucht als im Sommer, wurde im bejahenden Sinne von Dr. med. Carl Theodor, Herzog in Bayern, entschieden. Er fand, dass die Nahrungsmenge, welche im Winter genau hinreichte, um die Stoffwechselausgaben einer Katze zu decken, im Sommer sehr reichlichen Ansatz (Mästung) bewirkten. Die Katze erhielt vom 31. Dec. 1874 bis 14. Juni 1875 täglich 120 Grm. fettloses Fleisch und 15 Grm. Schmalz. Respirationsversuche ergaben, dass die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe mit sinkender Aussentemperatur sich steigern und zwar innerhalb der normalen Temperaturen des Winters und Sommers (— 5,5° C. bis + 30,8° C.). Voit machte Versuche am Menschen.

Die Einwirkung des Lichts auf den Stoffwechsel des Menschen ist noch nicht untersucht. Unter normalen Bedingungen ist der Stoffumsatz während der Tagesstunden beträchtlich lebhafter als während der Nachtstunden. Die Ursache liegt hier aber im Unterschied zwischen Schlaf und Wachen, im Allgemeinen zwischen Körperthätigkeit und Körperruhe. Wird während der Nacht gewacht und gearbeitet, so kehrt sich das Verhältniss um. An Fröschen wurden in älterer Zeit Moleschott u. A. Versuche angestellt, welche für eine steigernde Einwirkung des Lichtes auf den Stoffumsatz zu sprechen

schienen, den gleichen Schluss zieht Fubini aus seinen vergleichenden Versuchen an geblendeten und normalen Fröschen. Aber nirgends sehen wir experimentell die Einwirkung der gesteigerten Körperbewegung im Lichte von der möglichen, ja wahrscheinlichen Wirkung der letzteren getrennt, sodass die Versuche strenge Beweiskraft entbehren. Pflüger's Versuche bei Athmung.

Die Einwirkung der Muskelarbeit auf den Stoffwechsel des Menschen und der Thiere wird unten an verschiedenen Stellen im Einzelnen ausführlich besprochen werden. Die Hauptresultate der Untersuchung sind: Steigerung des Sauerstoffverbrauchs, der Kohlensäure- und Wasserausscheidung; in der Mehrzahl der Untersuchungen zeigte sich auch die Stickstoffausscheidung (im Harn), immer aber in relativ geringem Maasse gesteigert, diese Steigerung kann unter Umständen sogar vollkommen fehlen (Voit). Der durch die Muskelarbeit gesteigerte Stoffverbrauch des Organismus bezieht sich sonach vorwiegend auf die »stickstofffreien« Körperbestandtheile (cf. bei Athmung).

Die Einwirkung des verschiedenen Verhältnisses der Organe zu einander und zum Gesammtkörper auf den Stoffwechsel. Wir haben oben S. 177 darauf hingedeutet, wie ausserordentlich gross in dieser Beziehung die Differenzen sind, wenn wir die verschiedenen Alter, die verschiedenen Geschlechter etc. derselben Species, spec. des Menschen mit einander vergleichen. Der Drüsenapparat, d. h. alle grossen Drüsen zusammengenommen, ist im kindlichen und weiblichen Organismus quantitativ bedeutender entwickelt, als im männlichen Körper, verglichen mit dem Bewegungsapparat (sammt der äusseren Haut). Nach unseren Bestimmungen betheiligt sich das gleiche Gewicht Drüsenapparat circa 5,4mal stärker an dem Stoffverbrauch als der Bewegungsapparat. Mit der relativen Zunahme des ersteren muss daher, alles Andere gleichgesetzt, entsprechend der Gesammtstoffumsatz des Organismus wachsen.[1] 1 Gramm »Bewegungsapparat« des erwachsenen Mannes verbraucht in 24 Stunden 0,00215 Gramm Kohlenstoff, 1 Gramm »Drüsenapparat« 5,4mal mehr, Das Blut an sich betheiligt sich nur in einem verschwindenden Antheil an dem Gesammtstoffverbrauch (Pflüger u. A.). Danach ist man im speciellen Falle in der Lage, zwei der Hauptfactoren zu berechnen, aus welchen sich die Gesammtsumme des Stoffverbrauchs bei dem Menschen (und den Thieren) zusammensetzt. Der relative Mehrverbrauch von Stoff, welchen wir im kindlichen Alter beobachten, bezieht sich aber ausserdem noch auf eine Anzahl anderer Momente: gesteigertes Wachsthum, gesteigerte Cirkulation, gesteigerte Abgabe von Wärme (und Wasser) etc. etc. (Nahrungsmengen bei verschiedenem Lebensalter S. 246) (cf. bei Athmung).

Nahrungsmenge.

Es liegt sehr nahe, als unteres Maass für die Mengenverhältnisse, in welchen die Nahrungsmittel gereicht werden müssen, um den täglichen Körperverlust vollkommen zu ersetzen, den Stoffverbrauch im Hungerzustande anzunehmen. Man ist versucht zu glauben, dass eine Nahrungszufuhr, welche den Hungerverlust deckt, auch eben zur Ernährung hinreichend sein müsse. Meine Untersuchungen ergeben für den Verbrauch im Hunger bei dem Menschen im

1) Das Nähere cf. J. Ranke, Die Ernährung des Menschen. München 1876. Cap. VI.

Durchschnitt etwa 50—60 Gramm Albumin und 200 Gramm Fett im Tage. Reicht man diese Nahrung, so bemerkt man sogleich, dass sie zum Ersatz nicht genügt. Der Grund dafür liegt in der schon mehrfach besprochenen Steigerung, welche der Umsatz durch eine Steigerung der Thätigkeit der Verdauungsorgane etc. erfährt.

Ein besseres Maass gewinnt man aus der Bestimmung der Ausscheidungsprodukte, welche der Körper während 24 Stunden abgibt, bei einer unbestimmten, gewöhnlichen Ernährungsweise. Aus den bestimmten Zersetzungsstoffen können die unbestimmten Einnahmen berechnet werden.

Bei einem derartigen Versuche fand ich als Normalzahlen für die Ausscheidungsprodukte in 24 Stunden für einen ruhenden Menschen, d. h. bei geringer Muskelleistung:

für Haut und Lungen:

791,1 Gramm CO_2
= 215,7 - C

für den Harn:

40,00 Gramm Harnstoff
0,53 - Harnsäure } = 18,85 N und 8,20 C

Die Gesammtmenge des durch Lungen und Nieren ausgeschiedenen Kohlenstoffs betrug 223,9 Grm. Das Verhältniss des N zum C in den Ausscheidungen beträgt: 1 : 12.

Rechnen wir wie bei Hunger den ausgeschiedenen Kohlenstoff auf Fett nach der Formel, welche Chevreul für Menschenfett aufstellte — 79% C in 100 Theilen —, so ergeben sich 200 Gramm Fett neben 122 Gramm Eiweiss. Die Eiweissmenge in der gewöhnlichen Nahrung, die nur durch den gesunden Appetit geregelt wird, beträgt hier demnach gerade das Doppelte des Eiweissverlustes des hungernden Organismus, während der Fettverbrauch in beiden Fällen ganz gleich scheint, doch dürfen wir nicht vergessen, dass ein Theil der CO_2 auch von anderen kohlenstoffhaltigen Materien der Nahrung geliefert wurde als Fett. Es ist bemerkenswerth, dass das Stickstoff-Kohlenstoffverhältniss in den Ausscheidungen auch bei grossen scheinbaren Aenderungen in der Nahrungsaufnahme, wenn diese dem Appetit zu bestimmen überlassen blieb, von mir öfter 1 : 12 gefunden wurde.

Es ist klar, dass die Nahrung unter allen Umständen etwas mehr Stoffe enthalten muss, als die Exkrete rechnen lassen würden, da ja ein Theil der ersteren den Körper unverdaut wieder verlässt. Da die Verdauungsstärke der verschiedenen Individuen sehr verschieden sich verhält, so lässt es sich mit weiterer Rücksicht auf einige analog wirkende Momente begreifen, wie die gleiche Nahrungsaufnahme, z. B. bei den Genossen eines Kosttisches, so verschiedene Erfolge hervorbringen kann.

Es ist möglich, die Nahrung des Menschen nicht nur chemisch nach ihren Elementarstoffen zu bestimmen, sondern sie auch für längere Zeit hindurch gleichmässig zu halten, so dass man am Menschen ebenso wie an Thieren mit aller wünschenswerthen Exaktheit Ernährungsversuche anstellen kann (J. Ranke).

Bei einem Mittelgewichte von 74 Kilogramm war meine Ernährung mit Nahrungsmitteln, welche 15,22 Gramm N und 228,7 Gramm C enthielten, eine vollständige, so dass ich eine Woche hindurch bei geringer Muskelleistung =

Ruhe meine Körperausgaben damit vollkommen bestritt. Die Zusammenstellung der einzelnen Nahrungsstoffe hatte ich möglichst dem gewöhnlichen Essen der mittleren Stände nachgeahmt und kann für ähnliche Versuche als Normalmischung gelten.

Die Nahrung bestand in Folgendem:

250	Gramm	Fleisch . .	= 8,5	Gramm N und	31,8	Gramm C
400	-	Brod . .	= 5,1	- - -	97,44	- -
70	-	Stärke . .	= 0	- - -	26,05	- -
70	-	Eiereiweiss	= 1,52	- - -	5,99	- -
70	-	Schmalz . }	= 0,1	- - -	67,94	- -
30	-	Butter . . }				
10	-	Salz				
2100cc		Wasser				
		Zusammen	15,22	Gramm N und	229,22	Gramm C.

Das Stickstoff-Kohlenstoff-Verhältniss beträgt hier:

1 : 15.

Das Fleisch wurde möglichst vollkommen von dem anhaftenden Fett befreit, gewogen und dann mit einem Theile des Schmalzes gebraten: aus dem Reste des letzteren mit der Stärke, dem Eiereiweiss und Salz wurde eine Mehlspeise bereitet. Die Butter wurde zum Brode genossen. Wie vollkommen diese Nahrung bei den obwaltenden Bedingungen zur Deckung der Körperausgaben hinreichte, lässt sich aus einer kleinen Tabelle erkennen, in welcher den chemisch bestimmten Einnahmen in 24 Stunden die ebenfalls chemisch bestimmten Ausgaben während derselben Zeit gegenübergestellt sind:

	N	C
Einnahmen:		
In der Nahrung	15,22	229,22
Ausgaben:		
Im Harne	14,84	6,62
Im Kothe	1,12	10,6
In der Respiration	0	207,0
Zusammen:	15,96	224,22.

Die Fehler = Differenzen in den Bestimmungen sind nicht grösser, als sie bei einer chemischen Elementaranalyse der Nahrungsstoffe, wenigstens bei so grossen Mengen, wie sie hier vorliegen, sich auch würden ergeben haben. Bei vollständiger Ernährung gleicht der Vorgang wirklich einer Elementaranalyse, es werden ebenso viel Stoffe im Körper verbrannt, als in der Nahrung aufgenommen wurden. Setzen wir in die Tabelle der aufgenommenen Nahrungsstoffe einfachere Ausdrücke ein, so erhalten wir als ausreichende Nahrung für einen erwachsenen Mann von 74 Kilogramm, bei geringer Körperarbeit:

an Albumin (15,5 N) .	= 100	Gramm
- Fett	= 100	-
- Stärkemehl (Zucker)	= 240	-
- Salz	= 25	-
- Wasser	= 2535	-
Zusammen:	= 3000 Gramm = 3 kg	

wovon 0,5 kg feste Nahrungsstoffe.

F. W. Beneke berechnet aus 15 an sich selbst angestellten Versuchen den ausreichenden Stoffverbrauch für im Mittel 62,5 Kilogramm Körpergewicht bei mässiger körperlicher und angestrengter geistiger Thätigkeit zu 93,5 Gramm Eiweiss, 109 Gramm Fett, 284 Gramm Kohlehydraten.

Es ist nach dem bisher Gesagten ohne weitere Erklärung selbstverständlich, dass man bei der Nahrung im Einzelnen den jeweiligen Bedürfnissen des zu ernährenden Individuums Rechnung zu tragen hat; die Nahrungszufuhr muss den individuellen Bedingungen angepasst werden. Für jeden Organismus (mit seinem speciellen Organ-Verhältniss, seiner Arbeitsleistung etc.) gibt es ein Ideal der Nahrung, d. i. die geringste Menge Eiweiss, welche man bei Zusatz der geringsten Menge von Leim, Fett oder Kohlehydraten braucht, um den Bestand der Stoffe in ihm zu erhalten oder anderen Anforderungen zu genügen (Voit). Ein Organismus, von dem viel Muskelarbeit verlangt wird, wird eine andere Nahrung bedürfen als einer, dem wenig zugemuthet werden soll, oder bei dem es weniger auf Muskel-, sondern auf den nöthigen Fettansatz zu einer normalen Ernährungsfähigkeit ankommt.

Die verschiedene chemische und anatomische Zusammensetzung des Körpers ist mit der Verschiedenheit in der Verdauungsstärke vorzüglich der Grund, warum ein und dieselbe Nahrung bei verschiedenen Individuen so ganz verschiedene Wirkung hervorbringt.

Verschiedene Ernährungsweisen.

Moleschott hat versucht, aus älteren Versuchsreihen von Mulder, Playfair, Liebig, Wundt, Genth und Gasparin das Kostmaass eines arbeitenden erwachsenen Mannes zu berechnen. Es ist bemerkenswerth, wie nahe dasselbe mit dieser unserer Normaldiät für geringe Muskelleistung, welche experimentell ausgeprobt wurde, übereinstimmt. Nur ist der ganze Verbrauch etwas höher gegriffen, was darin einerseits seinen Grund hat, dass der Kostsatz für Muskelarbeit berechnet ist und dass man andererseits vor meinen Kohlensäurebestimmungen am Menschen mit dem Pettenkofer'schen Respirationsapparate die Kohlensäureausscheidung des Erwachsenen ziemlich viel höher schätzte; meist legte man den von Liebig aus der Nahrung hessischer Soldaten berechneten Werth von 27 8/10 Loth = 434,4 Gramm Kohlenstoff zu Grunde, was nach meinen Beobachtungen fast um das Doppelte zu viel ist, 224 : 434. Das von mir beobachtete Individuum würde ohne stärkere Muskelleistung bei dem Moleschott'schen Kostmaasse Stoffe angesetzt haben, also gemästet worden sein.

Nach der Berechnung Moleschott's müsste das tägliche Kostmaass für einen kräftig arbeitenden erwachsenen Mann, z. B. Arbeiter, Soldaten betragen:

an Albumin	=	130	Gramm
- Fett	=	84	-
- Stärkemehl oder Zucker etc.	=	404	-
- Salzen	=	30	-
- Wasser	=	2800	-
Zusammen:		3448	Gramm.

Die Gesammtstickstoffmenge beträgt hier 20,2 Gramm N; die Gesammtkohlenstoffmenge: 320 Gramm C; das Stickstoff-Kohlenstoff-Verhältniss ist dabei: 1 : 15, der gleiche Werth, den auch wir bei unseren Beobachtungen gefunden haben.

Es ist nach unseren Vorbesprechungen einleuchtend, dass diese Zahlenangaben keinen absoluten Werth beanspruchen können. Um den Körper zu erhalten, kann eine Nahrungs-

menge z. B. wie die eben angeführte dienen; doch ist zu dem angestrebten Zwecke die angegebene Mischung nicht gerade erforderlich.

Nehmen wir an, dass der Mensch allein von Fleisch sich ernähren kann, wie es der Hund vermag, so würden wir zu demselben Zwecke ausreichen nach unserer oben angestellten Rechnung mit 2000 Gramm Fleisch. Diese Fleischmenge enthält 68 Gramm N und 250,4 Gramm C. Das Stickstoff-Kohlenstoff-Verhältniss würde betragen: 1 : 3,7.

Im Hungerzustande bestreitet derselbe Organismus seine Bedürfnisse für 24 Stunden mit 50—60 Gramm Albumin, etwa = 200 Gramm Fleisch, und 200 Gramm Fett. Das Stickstoff-Kohlenstoff-Verhältniss beträgt im Durchschnitt: 1 : 20,5.

Bei stickstofffreier Kost wird der Albuminverbrauch des Organismus noch herabgesetzt selbst gegen den Hungerzustand, das Stickstoff-Kohlenstoff-Verhältniss steigt auf 1 : 24,7.

Ich deckte in anderen Versuchsreihen meine Körperverluste noch durch mehrere andere Nahrungsstoff-Combinationen. In einer Reihe wurde genossen:

Rindfleisch	= 500 Gramm	= 17 Gramm N und	62,7 Gramm C	
Brod	= 200 -	= 2,56 - - -	48,72 - -	
Fett	= 80 -	= 0 - - -	54,29 - -	
Rohrzucker	= 125 -	= 0 - - -	52,7 - -	
Salz	= 10 -			
Wasser	= 2000cc			
	Zusammen:	19,56 Gramm N und	218,41 Gramm C.	

Das Stickstoff-Kohlenstoff-Verhältniss ist hier: 1 : 11,2 sehr annähernd an jene Grösse, welche das Verhältniss bei nur durch den Appetit geregelter Kost einhält, wo ich es in zwei verschiedenen Versuchen wie: 1 : 12 fand. In der Milch ist das Verhältniss 1 : 11.

Voit stellte neuerdings als Kostsatz für den Arbeiter auf:

	Stickstoff:	Kohlenstoff:
118 Eiweiss	18,3	63
56 Fett	—	43
500 Stärkemehl	—	222
	18,3 N :	328 C = 1 : 18

Es ist einleuchtend, dass wir nach diesen Erfahrungen nicht mehr von einem ein für alle Male feststehenden Kostsatze, in welchem eine bestimmte Menge von Albumin und von stickstofffreien Nahrungsstoffen vertreten sein müsste, sprechen können.

Volksernährung.

Die verschiedene Art der Volksernährung in den verschiedenen Ländern beweist ebenfalls die Richtigkeit dieses Satzes.

Playfair fand in der Nahrung englischer Landbauer nur 67,15 Gramm Albumin auf 238,62 Gramm stickstofffreie Nahrungsmittel enthalten; eine andere Bestimmung ergab demselben: 87,72 Gramm Albumin auf 350,94 Gramm stickstofffreie Substanzen.

Nach den Angaben Böhm's besteht die Kost der ärmsten Volksklassen in norddeutschen Gegenden (Luckau) für Aeltern und ein (fünfjähriges) Kind pro Woche aus:

8¾ Mtz.	Kartoffeln	= c. 41 Pfd.	= 410 Gramm	Albuminate
½ -	Mehl	= 2½ -	= 67,5 -	-
1¾ Pfd.	Fleisch	=	99,5 -	-
½ -	Reis	=	10,0 -	-
12 -	Brod	=	300,0 -	-
geringste Mengen von Milch				
		28875 Gramm mit	887 Gramm	Eiweiss.

Man kann etwa die Hälfte auf den Mann, die zweite Hälfte auf Frau und Kind rechnen, so dass der Mann etwa 64 Gramm Eiweiss pro Tag erhält.

Die Bauern des bayerischen Gebirges und der bayerischen Hochebene essen nur an vier Feiertagen im Jahre Fleisch. Sie nähren sich sonst von Mehlspeisen, die durch ihren ungemeinen Fettreichthum auffallen. Diese sogenannte »Schmalzkost« ziehen sie der Fleischkost als besonders kräftigend vor, wie ihr Sprichwort sagt:

»A habernes Ross und an g'schmalzenen Mann
Die zwoa reisst koa Teufl zam«.

Uebrigens ist die Kost dieser kräftigen Bergbewohner durchaus nicht eiweissarm (LIEBIG). Ein Holzknecht in Reichenhall empfängt, wenn er am Montag nach dem Frühstück in die Berge geht, von seinem Herrn 3,4 Zollpfd. Schmalz, 7,8 Pfd. Mehl, 4,5 Pfd. Brod; er kommt Samstags Abends nach Hause und isst zu Hause zu Nacht. Die angegebene Nahrung muss also für 5 volle Tage ausreichen; sie entspricht — das Stärkemehl in Fett (24 : 10) und das Brod in Fleisch umgerechnet (100 Pfd. Mehl = 140 Pfd. Brod, worin 8% Albumin), per Tag:

Fleisch 540 Gramm, Fett 626 Gramm!

Auf eigene Rechnung kauft sich der Holzknecht noch ein Maass gedörrtes Obst, sicher nicht der Leckerei wegen, sondern um in seiner Speise das Quantum der arbeitenden Alkalien (Kali) zu vermehren. Noch bedeutendere Albuminmengen der Schmalzkost geben die Berechnungen H. RANKE's nach dem jährlichen Durchschnitt für sein Landgut Laufzorn bei München. Hier erhält ein Knecht im Tage durchschnittlich 152 Gramm Albuminate, im Jahre 55500 Gramm, davon aber nur $3^3/_4$% als Fleisch.

E. STEINHEIL fand die Zusammensetzung der Nahrung von 4 Bergleuten in der Grube Silberau bei Ems im Tagesdurchschnitt zu: 133 Gramm Eiweiss, 113 Fett und 634 Kohlehydrate.

Reisende berichten von den erstaunlichen Fettmengen, welche die Bewohner der Polarländer zu geniessen pflegen. In einem kalten Klima ist man der grossen Wärmeverluste wegen genöthigt, viel zu essen und namentlich Fett wegen seiner hohen Verbrennungswärme. Ein Eskimo soll im Stande sein, im Tag 8—12 Pfd. (?) fettes Walrossfleisch zu verzehren. Diese reichliche Nahrung liefert ihm genügend Wärme, um den grossen Wärmeverlusten trotzen zu können. Doch sind derartige Bemerkungen noch nicht genügend wissenschaftlich begründet.

DARWIN erzählt bei Gelegenheit der Beschreibung seines Aufenthaltes in den Pampas, dass er mehrere Tage nichts als Fleisch genossen und sich ganz wohl dabei befunden habe. Die Gauchos berühren in den Pampas Monate lang nichts als Rindfleisch. Doch kennen die fleischessenden Nationen wohl den Werth des Fettes; sie verschmähen mageres, trockenes Fleisch.

In den Tropen geniesst man Stoffe, welche eine geringere Verbrennungswärme zeigen: Kohlehydrate, Pflanzensäuren etc.; man verzehrt ausserdem möglichst wenig Eiweiss, um den Stoffumsatz und damit die Sauerstoffaufnahme niedrig zu halten (VOIT). Der Hindu lebt, wie man sagt, von Reis, der Südegyptier von Datteln, der Mexikaner von Mais und Bananen, die südamerikanischen Neger von Zuckerrohr. So lange wir die Mengen nicht kennen, in welchen diese Substanzen, die alle Albuminate enthalten, genossen werden, können wir uns ein sicheres Urtheil über die sich hier aufdrängenden Fragen nicht bilden. Es steht noch nicht fest, dass die Wärmeabgabe in den Tropen eine geringere sei als in den mittleren Klimaten, da in der Wärme die Wasserverdunstung aus dem Organismus sehr beträchtlich steigt und, wie wir aus den Berichten der Reisenden wissen, die Schweissbildung der Tropenbewohner (z. B. Chinesen) gross ist. C. v. SCHERZEL berichtet sehr lehrreich in dieser Hinsicht, dass ein chinesischer Arbeiter 900—1200 Gramm Reis, zur Erntezeit sogar 1500 Gramm im Tage verzehrt, wobei er in der Woche noch öfters Fisch oder Schweinefleisch erhält. Daneben isst er noch Leguminosen und jenen oben erwähnten stickstoffreichen Leguminosenkäse. Ein japanesischer Feldarbeiter erhält neben eiweissreicher Bohnensulze noch über 1600 Gramm Reis, selten Fleisch oder Eier, denen sie

aber eine besondere kraftgebende Wirkung zuschreiben. Aehnlich wird es sich bei den anderen oben genannten Bevölkerungen verhalten.

Wie sehr man sich bei derartigen aprioristischen Voraussetzungen sogar in nächster Nähe täuschen kann, zeigt das oben angeführte Beispiel der Ernährung der bayerischen Gebirgsbewohner, von denen man behauptet hatte, dass sie bei einer Diät, welche vorzugsweise aus Kohlehydraten und Fett besteht, anstrengender Arbeit fähig seien; erst Liebig zeigte, dass die Albuminmenge ihrer Nahrung eine sehr bedeutende ist. Aehnlich geht es mit der Behauptung der »Nahrhaftigkeit« des Biers. Man behauptete früher vielfältig gegen Liebig, dass die bayerischen Arbeiter sich mit Bier (und Brod) arbeitskräftig erhielten. Liebig konnte nachweisen, dass die stärksten Biertrinker in München auch die stärksten Esser sind. In der Sedlmayer'schen Bierfabrik trifft auf den Kopf eines Arbeiters im 1/2jährigen Durchschnitt pro Tag:

546	Gramm	Brod,
810	–	Fleisch (vom Metzger),
?	–	Fett und Gemüse etc.,
8000	–	= 8 Liter Bier!

Die Arbeit der Brauknechte ist sehr schwer und nur sehr starke Männer eignen sich dazu.

Um mit Bier, das kein oder nur Spuren von Eiweiss enthält, den Kohlenstoffverbrauch des Organismus zu decken, bedürfte man 12—13 Liter im Tage! dabei müsste aber immer noch Eiweiss zugeführt werden. Das ist der Sinn, wenn wir auch bei reichlichster Bierkonsumption eiweisshaltige Stoffe z. B. Käse mitgenossen sehen.

Die Londoner Hafenarbeiter (Navvies), welche z. B. im Krimkriege bei dem Eisenbahnbau bei Bala Klava sich durch ihre ausserordentliche Arbeitsleistung auszeichneten, verzehrten täglich 150—159 Gramm Albuminate und zwar ca. 3/4 in Form von Fleisch.

Wir sehen, wie geschickt der Volksinstinkt die richtige Verbindung der Nahrungsstoffe herauszufinden weiss; die Erfahrung hat dem Menschengeschlecht seit dem Beginne seines Daseins hierin Alles gelehrt, was die Wissenschaft erst mühsam zu ergründen und zu begründen bestrebt ist. Dem Einzelnen unbewusst zeigt sich über der ganzen Lebensweise der Nationen eine strenge Gesetzmässigkeit: Die gesunde Volksnahrung bestrebt sich im Allgemeinen, den Körper auf einem ziemlich hohen Organstand — Muskel- und Fettmenge — dauernd zu erhalten. Sie ist stets Erhaltungsnahrung (Voit). Die Ernährung kann auch, wie wir wissen, von einem anderen Gesichtspunkte ausgehen. Sie kann eine bestimmte Veränderung des Körperzustandes anstreben. Sie kann beabsichtigen, den Körper fett- oder fleischreicher, fett- oder fleischärmer zu machen. Die verschiedenen Berufsweisen, Geschlechter, Lebensalter erfordern eine sehr verschiedene Nahrung. Wir wollen einige hervorragende Beispiele der Art noch besprechen.

Ernährung der Truppen.

Beginnen wir mit der Ernährung der Truppen im Frieden.

Die Aufgabe scheint ziemlich einfach zu lösen. Wir haben in den zu Ernährenden kräftige erwachsene Männer vor uns, die wenigstens theilweise und zu Zeiten stark zu arbeiten haben.

Trotz der scheinbaren Einfachheit fällt in den verschiedenen Ländern die Antwort auf die uns vorliegende Frage sehr verschieden aus.

Wir verdanken Liebig eine Zusammenstellung der Nahrungsmengen, welche von einer Kompagnie hessischer Soldaten während eines Monats aufgenommen wurden, zusammen mit den in der gleichen Zeit ausgeschiedenen Exkrementen. Es ergibt sich, dass auf einen Soldaten der beobachteten Kompagnie, eingerechnet, was er noch neben seiner militärischen Beköstigung zu sich nimmt, 75,74 Gramm Albumin auf 447,86 Gramm stickstofffreie Stoffe

treffen. Liebig hält für einen Soldaten im Frieden 125 Gramm Albumin genügend, im Kriege verlangt er mindestens 140 — 148 Gramm.

Der Soldat des norddeutschen Bundes erhielt nach dem Reglement vor 1870 täglich im Frieden nach Voit's Berechnung:

	I. kleine:	II. grosse Portion:	Eiweiss: I.	Eiweiss: II.	Fett: I.	Fett: II.	Stärke: I.	Stärke: II.
Brod	697	697	56	56	10	10	343	343
Fleisch ohne Knochen (20% Knochen)	120	200	19	31	8	13	—	—
Reis	91	116	4	6	1	1	76	97
oder Graupen	116	149	12	16	2	3	92	106
- Hulsenfrüchte	232	307	51	67	5	6	126	166
Kartoffeln	1500	1992	22	30	30	40	350	466
bei Reis			79	93	19	24	419	440
- Graupen			87	103	20	26	425	449
- Hülsenfrüchte			125	154	23	30	469	509
- Kartoffeln			97	117	48	63	693	809
Im Mittel:			97	117	28	36	451	552.

In Frankreich ist die Nahrungsmenge im Frieden: 328 Fleisch und 846 Brod. Doch sind hier die Kostsätze sehr wechselnd. Nach Hildesheim erhält der Mann im Felde 24 Loth = 400 Gramm Fleisch.

In Oesterreich erhielt vor 1866 der Soldat im Frieden: 900 Brod, 224 Fleisch und 186 Mehl oder 70 Erbsen, Linsen, Bohnen, 560 Kartoffeln, Schmalz 9, Gerstengraupen 140. Im Mittel ist in dieser Nahrung enthalten 110 Eiweiss, 37 Fett, 525 Stärkemehl.

Ein englischer Soldat in Europa erhält nach Playfair 119,05 Albuminate auf 385,88 stickstofflose Nahrungsstoffe: in Indien 112,46 auf 339,82. Bei einem englischen Matrosen besteht die Nahrung bei frischem Fleisch aus 114,67 Gramm Albuminaten auf 338,82 Gramm stickstofffreie Substanzen; bei gesalzenem Fleische treffen 134,46 Gramm der ersteren auf 435,35 der letzteren.

Wir sehen, dass die Mengen der Eiweisssubstanzen im Verhältniss zu den stickstofffreien Stoffen in den Truppenkostsätzen sehr schwankend sind.

Nach den uns bekannten Gesetzen der Ernährung ist es uns sogleich einleuchtend, dass alle die verschiedenen Kostsätze wohl ausreichend genannt werden konnen für die Erhaltung eines kräftigen Mannes bei mässiger Arbeit. Es kann hierzu jede Modification der Nahrungsstoffe verwendet werden, welche auf etwa 15—18 Gramm N aus Albuminaten 230 Gramm Kohlenstoff aus $^2/_3$ Stärke und $^1/_3$ Fett enthält.

Am kostspieligsten ist unter den Nahrungsmitteln das Fleisch. Es wird zweckmässig sein, seine Menge zu beschränken und das Fehlende mit Schwarzbrod, Bohnen- und Linsenmehl zu ersetzen, welche durch ihren Eiweissgehalt sich empfehlen (über Schwarzbrod cf. unten).

Ernährung der Truppen im Krieg. Anders stellt sich die Frage für den Fall der Truppenverwendung im Kriege. Die grossen Strapazen, welchen der Einzelne hier ausgesetzt ist, erfordern eine Vorbereitung des Körpers zur Erzeugung möglichst grosser Korperkraft bei möglichst geringer Körpermasse, um die Bewegungen mit dem geringsten inneren Widerstande ausführen zu können. Das gilt auch, wenn man möglichste schlagfertige Kriegstüchtigkeit der Truppen im Frieden beansprucht. Hier kommt also eine ganz andere Frage zur Beantwortung, als sie uns bei der Bekostigung der Truppen im Frieden vorliegt. Während dort vorzüglich eine Erhaltungsnahrung erforderlich war, da es weniger darauf ankam, den Mann für übergrosse Anstrengungen geschickt zu machen, müssen wir uns hier nach Mitteln aus dem Schatze der Ernährungsgesetze umsehen, welche den zwar gesunden, aber vielleicht

muskelarmen oder gemästeten Körper des Rekruten zu einem für den Kriegsdienst tauglichen, muskulösen und arbeitsfähigen umwandeln. Wir wissen, dass dieses nur geschehen kann bei kräftiger Arbeit durch reichliche Zufuhr von Albuminaten in der Nahrung. Das Erste, was eine für den Krieg taugliche Truppenernährung enthalten muss, ist eine bei weitem grössere Menge von Fleisch, als sie zur alleinigen Erhaltung des Organismus neben Fetten und Kohlehydraten erforderlich wäre. Es muss möglichst in der Nahrung das Bestreben obwalten, die Muskelmasse und die im Säftestrom arbeitende Eiweissmenge zu vermehren. Am zweckmässigsten würde es sein, soweit es thunlich ist, die Truppen im Felde auf das Regime der englischen Faustkämpfer zu setzen, von dem wir erfahren, dass es vorzüglich aus Fleisch, wie bei den Kämpfern des Alterthums — Rindfleisch, Beafsteaks — besteht. Da das Fett oder die Kohlehydrate den Fleischansatz ermöglichen, dürfen aber auch sie natürlich besonders bei anfänglich mageren Körpern nicht fehlen.

Der ursprünglich fettreiche Körper wird bei kräftiger Arbeit durch fettarme Fleischnahrung an sich muskelreicher und fettärmer: stärker und beweglicher.

Der so vorbereitete Körper, dessen Muskelmasse und circulirende Säftemasse gesteigert ist, ist im Stande, eine möglichst grosse Kraftanstrengung zu leisten. Bei der Arbeitsleistung selbst, zum Ersatz der dabei stattfindenden Körperverluste muss nicht nur die Eiweisszufuhr, sondern auch die Zufuhr der Kohlehydrate und Fette eine gesteigerte sein, da bei der Muskelarbeit besonders die Respirationsausscheidung eine sehr wesentlich gesteigerte ist. Diese Grundsätze kamen in den letzten Kriegen praktisch zur Anwendung.

Nach dem Reglement der Deutschen Truppen bestehen die Kriegsportionen aus:

	I. kleine:	II. grosse Portion:	Eiweiss: I.	Eiweiss: II.	Fett: I.	Fett: II.	Stärke: I.	Stärke: II.
Brod (oder 500 Zwieback)	749	749	60	60	11	11	367	367
Fleisch ohne Knochen (20% Knochen)	300[1]	400	47	63	24	26	—	—
Reis	124	166	6	8	1	1	104	138
oder Graupen	124	166	13	17	2	3	88	119
- Hülsenfrüchte	248	332	54	72	5	7	135	180
- Mehl	248	—	32	—	3	—	173	—
- Kartoffeln	1500	2000	22	30	30	40	350	466
bei Reis			113	131	36	39	471	506
- Graupen			120	139	37	41	456	487
- Hülsenfrüchten			161	195	40	44	502	547
- Mehl			132	—	38	—	540	—
- Kartoffeln			129	153	65	77	717	834
Im Mittel:			131	154	43	50	537	593.

Die Kriegsportion der österreichischen Truppen besteht jetzt im Mittel aus 129 Eiweiss, 60 Fett und 600 Stärkemehl.

Im Gegensatze zu den oben von PLAYFAIR gemachten Angaben bestand im zweiten Winter des Krimmkriegs die Ration des englischen Soldaten aus: 680 Gramm Brod, 567 Fleisch und Fett, 76 Reis, 680 Kartoffeln. Aus ärztlichen Mittheilungen ergibt sich, dass die Truppen in jener Zeit ein gemästetes Ansehen und eine sehr bedeutende Fettmenge im Unter-

1) Oder 249 geräuchertes Rind- oder Hammelfleisch oder 166 Speck, letzteren neben Hülsenfrüchten, bei denen ohne Fleisch der Eiweissgehalt schon 114 Gramm beträgt. Auch der Speck enthält noch eine geringe Quantität Eiweissstoffe, so dass dadurch die mittlere Eiweissmenge erreicht wird.

hautzellgewebe erkennen liessen, welche für Ertragung niederer Temperaturen und nasskalten Wetters im Lagerdienste passend gewesen sein mag, bei Verwundungen und chirurgischen Operationen dagegen die Heilerfolge sehr beeinträchtigte durch die den Chirurgen bekannte geringe Neigung des Fettgewebes zu vernarben.

Anstatt des Brodes der Kasernenkost sind, da sie weit mehr Nahrungsmaterial in kleiner Masse enthalten, im Krieg Speck oder Fett und Erbsenmehl (Erbswurst) oder überhaupt Leguminosenmehl anzurathen. Auch das scharf getrocknete Brod (Zwieback) ist zu empfehlen.

Gewöhnlich werden der Nahrung der Soldaten im Felde auch noch Spirituosen, besonders Branntwein und Tabak zugesetzt. Jener hat zweierlei Zwecke zu erfüllen. Mässig genossen gibt er bei kalter, besonders nasskalter Witterung ein behagliches Wärmegefühl und hebt schon dadurch die geistige Stimmung, auf die wir den Alkohol so energisch erheiternde Wirkungen ausüben sehen. Dabei steigert er das Kraftgefühl und lässt Müdigkeit leichter überwinden. Aus diesen Ursachen hält man den Alkohol für einen unentbehrlichen Bestandtheil der Feldkost, und es wurden unter Umständen, namentlich im Krimmkriege auf russischer und englischer Seite, grosse Quantitäten davon täglich verabreicht. Doch liegt im Branntwein eine nicht zu verkennende Gefahr. Der Alkohol steigert bei jugendlich kräftigen, gut verdauenden Individuen die Neigung zum Fettansatz, der für einen feldtüchtigen Soldaten nicht zu wünschen ist; dabei erfordert ein regelmässiger Alkoholgenuss, um die gleichen Wirkungen hervorzubringen, fort und fort eine Steigerung in der eingenommenen Quantität, wodurch die schädlichen Folgen der chronischen Alkoholvergiftung zur Geltung kommen müssen. Am meisten wäre hier der chronische Magenkatarrh zu fürchten, der eine gute Ernährung und damit ein Gesund- und Kräftighalten der Mannschaft unmöglich machen würde.

Für einige Zwecke, welche man mit Alkoholgenuss zu erreichen strebt, ist entsprechender, ungefährlich und gewiss von nicht geringerer Wirkung Kaffee (und Thee), wenn der Soldat die Möglichkeit hat, Feuer zu machen. Wir kennen die belebende, kräftigende und ermunternde Wirkung dieser Getränke. Es ist nicht schwer, aus gutem Kaffee ein Extrakt zu bereiten, dem man Zucker zusetzen kann. Der Kaffee wird damit leicht transportabel und etwas heisses Wasser genügt, um aus ihm ein gutes Getränk herzustellen. Der Branntwein könnte dann zweckmässig auf die Zeiten verspart werden, in denen es für den Soldaten nicht möglich ist, abzukochen.

Für solche Fälle soll der Soldat im Felde stets etwas bei sich tragen: eiserner Bestand. Man hat das Verschiedenste angerathen. Mir scheint, dass ein gut verpacktes Stück Käse (250 Gramm), so dass es nicht zu viel an Wasser verliert, neben dem Zwieback oder Brod (750 Gramm), welches der Soldat bei sich führt, das entsprechende Surrogat für andere Nahrung wäre. Es ist mit einem Schluck Branntwein gewiss Das, was dem Soldaten am besten munden und den Stoffverbrauch vollkommen decken würde. Wir müssen übrigens bei allen derartigen Anforderungen bedenken, dass es auch bei starker Arbeit für den gesunden, vorher gut genährten Organismus durchaus nicht nothwendig ist, dass er gerade alle vierundzwanzig Stunden eine ausreichende Nahrung erhält. Das Wohlbefinden der Leute sinkt bei mangelnder Nahrung — abgesehen vom Hungergefühl, dem einige Schluck Branntwein und Tabak abhelfen können — zunächst gewiss besonders durch die psychische Herabstimmung, die ein ohne Nahrungsaufnahme verstrichener Tag hinterlässt. Ein kräftiges Stück Käse zum Zwieback, oder nöthigenfalls allein, würde, auch wenn es weitaus nicht zum vollkommenen Ersatz des Körperverlustes für den Tag ausreichen könnte, doch am ersten noch — da der Käse in dem Geruche grosser Nahrhaftigkeit steht — den psychischen Eindruck der genügenden Nahrungsaufnahme hervorbringen, auf den es hier vor Allem ankommt. Diese Nahrung für den äussersten Nothfall könnte auch zweckmässig aus Fett — aus einem Stück von sehr fettem geräuchertem Schweinefleisch: Speck — bestehen. Die gesunden Soldatenmagen würden für seine Verdauung sorgen und der Körperverlust würde da-

durch vollständig gedeckt werden konnten. Es würde dazu nur etwa 220 Gramm *Speck* oder 250 Gramm *Käse* für den Tag erforderlich sein. Die süddeutschen Soldaten verschmähen jedoch den Speck.

Ernährung in Anstalten und Familien.

Die *Ernährung in Gefangenenanstalten* ist gewöhnlich eine Hungerkost, wenn wir damit eine Kostmenge und Mischung bezeichnen, welche den Körper erst, wenn er schon auf eine geringe Organmasse herabgekommen ist, auf diesem herabgeminderten Zustande zu erhalten vermag. Es treten hier die Mängel einer Ernährungsweise noch weit greller zu Tage als bei dem Soldaten, dem schon der Besitz der Freiheit und Uniform noch anderweitige Nahrungsquellen eröffnet, die für den Gefangenen verschlossen sind, welcher, allein auf sein Kostmaass angewiesen, die täglichen Ausgaben seines Körpers allein mit seinen täglichen Nahrungseinnahmen ins Gleichgewicht setzen muss. Der relative Nahrungsmangel, an den sich der Körper nur schwer und schlecht gewöhnt, ist in vielen Fällen der Grund, welcher die Freiheitsstrafe für so Manchen zu einer Todesstrafe macht.

Der Staat hat auch für diese Elenden nach Kräften zu sorgen, damit sie nicht noch elender gemacht werden, als das Gesetz es verlangt. In einem geordneten Staate muss das Gesetz, welches den Verbrecher verurtheilt, zugleich ihn schützen vor anderweitigen, durch die Strafe nicht beabsichtigten Beeinträchtigungen seiner Person. So nahe der Gedanke liegen mag, dass es für einen seiner Freiheit zur Strafe Beraubten nicht nöthig sei, gut und viel zu essen, so ungerecht ist es, demselben seinen nöthigen Unterhalt vorzuenthalten. Die sitzende, eingeschlossene Lebensweise der Gefangenen mag früher den für sie angenommenen geringen Nahrungssatz wenigstens entschuldigt haben. Jetzt, da die Arbeit im Freien, besonders die Feldarbeit mit so vortrefflichem Erfolge in den Gefangenenanstalten eingeführt wird, sollte auch die Nahrungsmenge jedes Einzelnen dem Bedürfnisse eines Arbeiters genügen. Da bei den Gefangenen jeder Zuschuss zu ihrer Nahrung wegfällt, so sollte ihr Kostsatz wohl sogar etwas höher gegriffen sein, als der der Truppen in Friedenszeit. Das dort Gesagte gilt im Allgemeinen auch hier. Dabei ist in den gegebenen Grenzen auch auf eine dem natürlichen Geschmacke Rechnung tragende Zubereitung mit Zusatz der nöthigen Gewürze und Abwechselung in den Speisen zu sorgen, da nur so sich die Gesundheit der Verdauungsorgane erhalten lässt.

Nach PLAYFAIR beträgt die Kost der *englischen Gefangenen* etwa:

an Albuminaten . . . . . . 60 Gramm,
an stickstofffreien Stoffen . . . 430 –

Bei den bengalischen auf Hungerkost gesetzten Gefangenen beträgt die Albuminmenge in der Nahrung nur etwa 40 Gramm.

Die erstere Angabe ist nicht viel geringer, als die für den englischen Landbauer und die niedersten Klassen in Norddeutschland.

Nach BÖHM erhält in der *Strafanstalt* in Luckau der schwer arbeitende Gefangene eine *Morgensuppe* aus (auf Gramm umgerechnet 1 Loth = 15,62 Gramm) 62,5 Gramm Roggen- oder Gerstenmehl mit geschmackverbessernden Zusätzen, die *Abendsuppe* enthält noch überdies 25cc Milch oder 15,6 Gramm Butter, oder sie besteht aus 140 Gramm Roggenbrod und 15,6 Gramm Gerstenmehl. *Mittags* z. B. 109 Gramm Bohnen, 1170 Gramm Kartoffel und 1915 Gramm Gerstenmehl, oder Erbsen mit Kartoffel, Linsen mit Kartoffel oder abwechselnd Rübenarten, Buchgrütze, Graupen, aber niemals Fleisch). Daraus ergibt sich BÖHM im Mittel für den Tag 70—78,5 Gramm Eiweiss, wenn man noch das tägliche Roggenbrod von 583 Gramm zurechnet.

Der preussische *Gerichtsgefangene* erhält 750 Gramm Roggenbrod, 8 Gramm Salz und 375cc dick gekochter, mit frischem Fett geschmalzter Suppe, mit deren Ingredienzen täglich nach einer für die Woche anzustellenden Reihenfolge abzuwechseln ist. BÖHM berechnet daraus 60 Gramm Albuminate. Individuen, deren Gefängnissstrafe die Dauer von 4 Tagen

nicht übersteigt, erhalten dagegen täglich nur 500 Gramm Roggenbrod, 5,3 Gramm Salz und 250cc der oben bezeichneten Suppe. »Bei Wasser und Brod« Eingesperrte erhalten täglich 1 Kilogramm Roggenbrod und 15,6 Gramm Salz, also auch etwa 60 Gramm Albuminate, während die für kurze Zeit Eingesperrten nur etwa 40 Gramm Eiweiss täglich erhalten. Nach der zweiten Angabe konnten im Tage nur 12 Gramm Harnstoff gebildet werden — 6,2 Gramm N —, was dem täglichen Eiweissbedürfniss auch bei sehr geschwächtem, aber doch gesundem Körper niemals entsprechen kann, da die Harnstoffausscheidung eines gesunden Mannes sicher nicht unter mindestens einige 20 Gramm in 24 Stunden herabsinken darf. Es muss also immer soviel Eiweiss gegeben werden, um eine so grosse Ausgabe zu decken. Haughton bestimmte dagegen an englischen Gefangenen bei ausschliesslich vegetabilischer Diät wirklich nur 12,1 Gramm Stickstoff als Ausscheidung (im Harn). Im Zellengefängnisse Pentonville in London erhalten die Gefangenen folgende, durch mehrmaligen Wechsel geprüfte Nahrung nach Voit's Berechnung:

		Eiweiss:	Fett:	Stärkemehl:
Fleisch (ohne Knochen 20%)	114	25	1	—
Brod	570	47	—	252
Fleischbrühe	284cc	—	—	—
Kartoffeln	654	17	—	135
Haferschleim	568cc	2	—	9
mit Hafermehl	14			
und Syrup	21	—	—	21
426cc Cacaotrank mit Cacaoschalen	21	—	—	—
und Syrup	27	—	—	27
Milch	57	3	2	2
		94	3	446

F. W. Beneke machte zahlreiche Untersuchungen über die Kost der Pfleglinge I. und II. Klasse in der Irrenanstalt zu Marburg a. d. L. Die Kostsätze sind beide gewiss zu hoch. Die I. Klasse erhielt im Mittel pro Tag 179 Gramm Eiweiss, 149 Gramm Fett, 489 Gramm Kohlehydrate; die II. Klasse: 133 Gramm Eiweiss, 74 Gramm Fett, 504 Gramm Kohlehydrate.

Die Nahrung der heranwachsenden Jugend in Erziehungsanstalten und Familien hat für reichlich Fleisch und nicht zu wenig Fett zu sorgen, um das erforderliche Stoffquantum in möglichst geringer Masse reichen zu können, und die jugendlichen Magen nicht zu überladen. Hier kann mehr individualisirt werden, und ein aufmerksamer, pflichttreuer Director oder Familienvater, der den Mahlzeiten der Kinder selbst beiwohnt, kann wohl dem zu Fettansatz neigenden mehr Fleisch und weniger stickstofffreie Nahrung, dem Mageren und dadurch Schwächlichen mehr Fett neben einer gehörigen Fleischportion geben.

Bei heranwachsenden und erwachsenen Mädchen und Frauen ist ein genügender Fleischgenuss zur Entwickelung der Muskulatur sehr anzurathen; doch sind in ihrer Nahrung — wenn nicht eine abnorme Neigung zur Fettbildung bemerklich wird — die fettbildenden Substanzen wie Fett, Brod, Mehlspeisen, Zucker etc. nicht absichtlich zu beschränken, da ihr Lebensberuf eine überwiegende Ausbildung des Muskelsystems nicht verlangt und ein mässiger Fettreichthum die Möglichkeit der mütterlichen Ernährung des Neugeborenen zu steigern vermag.

Es wird nicht schwer sein, aus dem bisher Gesagten sich in dem einzelnen Falle zurechtzufinden, wenn es gilt, die Ernährungsgesetze zu einem gewissen, bestimmt formulirten Zwecke zu verwerthen. Immer wird sich die Frage auf sehr einfache Gesichtspunkte zurückführen lassen.

Die Ernährungsart als Krankheitsursache. Ernährung der Armen.

Ein rel. Uebermaass von Kartoffeln, Brod und ähnlichen stickstoffarmen Nahrungsmitteln ohne genugenden Eiweisszusatz zur Nahrung, wie es häufig nicht nur aus Armuth genossen wird, macht den Körper verarmen an Eiweiss und Fett und häuft Wasser in ihm an, wie z. B. auch aus dem obigen Beispiel von stickstofffreier Kost bei dem Menschen S. 225 ersichtlich ist.

Von v. Pettenkofer ist auf den Wasserreichthum der Gewebe des Korpers als auf eine disponirende Ursache für Erkrankung an Cholera hingewiesen worden. Wenn wir die Todtenlisten dieser verheerenden Krankheit betrachten, so finden wir unter ihren Opfern vor Allem die unterste, ärmste, man könnte sagen hungernde Volksklasse, so dass man die Cholera »eine Krankheit der Armen« hat nennen können. Ebenso sehen wir abgearbeitete, übermüde Individuen dieser Krankheit erliegen, während andere, welche sich, die Ermüdung abgerechnet, in den gleichen äusseren Verhältnissen befinden, davon verschont bleiben. Es wird dieses Verhältniss besonders bei dem Militär bemerklich, bei dem nach langen, anstrengenden Märschen etc. die Disposition zur Erkrankung zunimmt. Auch Alte und Kinder zeigen eine hervorragende Cholerasterblichkeit. Alle die genannten Kategorien der Bevölkerung zeigen, wie v. Pettenkofer im Anschluss z. Thl. an meine Bestimmungen (Wassergehalt der Organe im Alter S. 221) bemerkt, übereinstimmend einen erhöhten Wassergehalt der Gewebe, der dieselben für krankhafte Zersetzungen zugänglicher macht.

Nach den Beobachtungen an Thieren und Menschen ist es besonders eine rein vegetabilische Nahrung, welche den Körper wässerig macht. Er kann dann rund und wohlgenährt erscheinen; seine Fülle besteht aber nur in einer Anhäufung von Wasser. Dieses »gedunsene« Aussehen, dieser »Kartoffelbauch« kann durch eine kräftige Nahrung, in welcher Eiweissstoffe vorwalten, in ein weniger volles aber gesundes umgewandelt werden. Bei Beginn des Fleischgenusses geht das angesammelte Wasser in Strömen aus dem Organismus im Harn weg, so dass die reichere Ernährung zu Anfang mit einem Gewichtsverlust verknüpft ist (cf Ernährung mit Fleisch). Auch der Hunger, der die Gewebsstoffe verzehrt, bereichert diese procentisch an Wasser.

Wir sehen, dass die arme Bevölkerung unter diesen Umständen, der vegetabilischen Nahrung und des Hungerleidens, einen höheren Wassergehalt der Organe erkennen lassen muss.

Nach meinen Beobachtungen steigert die Muskelanstrengung ohne genügenden Ersatz durch Nahrung den Wassergehalt des Muskels, der die Hauptmasse des Körpers ausmacht, beträchtlich, so dass also auch übermässige Arbeit und Anstrengung den gleichen Erfolg, wie die beiden oben besprochenen Einflüsse besitzen; sie werden am verderblichsten, wenn sie sich alle zu einem Gesammtresultate vereinigen.

Es war längst bekannt, dass der kindliche Organismus in seinen Geweben wasserreicher ist, als der erwachsene. Ich habe erwiesen, dass der scheinbar »vertrocknete« Körper der Alten sich darin dem jugendlichen Organismus analog verhält.

Die bisher mitgetheilten Ernährungsgesetze geben die Mittel an die Hand, diesen Wasserreichthum zu verringern.

Um sich allein mit Gemüsen wie Kohl oder Rüben zu erhalten, bedürfte ein Mann im Tage etwa 10 Kilo, von Kartoffeln 4500 Gramm! Wirklich verzehrt nach Buckle in Irland ein Arbeiter täglich 4300 Gramm, eine Arbeiterin 3400 Gramm, ohne dadurch gut und kräftig genährt zu erscheinen, obwohl noch Brod und eiweissreichere Nahrung dazu gegessen wird, z. B. Milch, Buttermilch, Käse, Häring etc. Ganz analog ist es bei der Kartoffeln essenden Bevölkerung Norddeutschlands. Hier ist die Kartoffel kein Segen, die Ernährung liesse sich mit denselben Kosten verbessern, wenn für einen Theil der Kartoffeln andere eiweissreichere und fettreichere Nahrung (namentlich Käse) gekauft würde. Aber dann fehlt das gewohnte Gefühl der Magenauftreibung, das fälschlich als Sättigung betrachtet und verlangt wird.

Ganz ähnlich ist es übrigens auch mit der vorwiegenden Ernährung mit Brod, namentlich mit dem als nahrhaft geltenden Schwarzbrod aus grobgemahlenem Mehl, welchem Kleie beigemischt ist. PANUM und HEIBERG erklären, dass das Beibacken von Kleie zum Brod nur dem Bäcker Vortheil bringt. Während von Roggenbrod 90% wirklich verdaut werden, werden von grobkörnigem Kleienbrod (Pumpernickel) nur 80% (AD. MAYER). Die menschlichen Verdauungsorgane sind nicht im Stande, die Eiweissstoffe des grobgemahlenen Mehles genügend auszunützen. Von Weissbrod aus feinem Mehl bleiben dagegen nur 5,6% unverdaut. MAYER fordert zur genügenden Ernährung eines Erwachsenen 932 trockene = 1561 Gramm frische Semmeln, 807 trockenes = 1502 frisches Roggenbrod und 1172 trockenes = 2096 frisches Kleienbrod (Pumpernickel).

Die Ausnützbarkeit der Mehlfrüchte bei der Verdauung steht im geraden Verhältniss zur Feinheit des daraus hergestellten Mehles. Linsen, Bohnen, Grütze, gebrochenes Getreide etc. sind daher weit weniger »nahrhaft«, d. h. werthvoll für die Ernährung als aus diesen Früchten hergestelltes möglichst feines Mehl (S. 246).

Fettleibigkeit und Magerkeit.

Es kommt sehr häufig vor, dass der Arzt zur Beseitigung der Fettleibigkeit oder Magerkeit zu Rathe gezogen wird. Die Grundsätze der beiden rationellen Behandlungsarten sind im Vorausgehenden schon angegeben.

Die vielfach besprochene Banting-Kur gegen Fettleibigkeit besteht vorzüglich darin, dass man möglichst viel eiweisshaltige Stoffe (Fleisch) und wenig Fett und Kohlehydrate zur Nahrung erlaubt. Durch die reichliche Eiweisszufuhr sucht man nach VOIT möglichst viel »circulirendes Eiweiss« in dem Körper anzuhäufen, unter dessen Einfluss die Zersetzungsgrösse wächst und vom aufgespeicherten Fett verbrannt wird. Dadurch ändert sich, wie wir z. B. aus meinen Fleischversuchen (S. 216) wissen, die Körperzusammensetzung des Menschen sogleich durch Fettverlust, anfänglich langsam, später immer rascher. Neben dem Fettverluste geht bei genügender Muskelthätigkeit ein Muskelansatz (Fleischansatz) einher. Die Fleischmengen der Nahrung hat allein der Appetit zu regeln, doch müssen sie stets sehr gross sein. Es ist zweckmässig, den Gewichtsverlust bei solchen Kuren mit der Waage verfolgen zu lassen, da die Beobachtung des Erfolges die Kur, die doch an sich lästig ist, erfreulicher macht. Die Banting-Kur verbietet Bier, mit Fett gekochtes Gemüse, Brod. Sie gestattet nur sehr mässige Mengen trockenen Zwiebacks und leichten Wein.

Nach dem entgegengesetzten Principe muss die Kost der fettreicher zu machenden geregelt sein. Hier müssen neben genügend Fleisch vor Allem wirklich Fett, Butter, Schmalz, aber auch Zucker und Stärkemehl etc. vorwalten. Besonders wird Butterbrod anzurathen sein, um zwischen den Hauptmahlzeiten genossen zu werden, ebenso Bier. Hier sind auch der Leberthran, das Arrowroot etc. neben den eiweisshaltigen Nahrungsmitteln an ihrem Platze.

Ist der Appetit sehr gering, so muss die zu reichende Nahrungsmenge möglichst im Gewichte und Volumen beschränkt werden; am besten dient dazu das Fett. Oft wird Butterbrod noch vertragen und gern gegessen, während andere Nahrung verschmäht wird. Auch süsse, eingemachte Früchte mit viel Zucker und Aehnliches thun hier gute Dienste. Vor Allem aber wende der Arzt sich gegen das Vorurtheil des Suppengenusses. Ein Teller Fleischbrühsuppe stillt meist das Essbedürfniss in den betreffenden Fällen vollkommen und nährt doch nicht. Man lasse bei jeder Mahlzeit zuerst etwas consistente Nahrung mit möglichst viel Fett oder Zucker nehmen, soweit es der Magen ohne Störung verträgt. Dann erst wird zweckmässig eine Tasse Fleischextraktsuppe gereicht, um die belebende Wirkung auf das Befinden, die die Suppe hervorbringt, das Gefühl der Kräftigung mit den übrigen günstigen Wirkungen derselben hervorzurufen. An Stelle aller »nahrhaften« Thee's etc. ist wirkliche Nahrung zu setzen.

Bei dem Menschen kommt es selten auf den Fettansatz als solchen an. Bei Thieren ist der Fettansatz bei der **Mästung** neben dem Fleischansatz das Wichtigste. LIEBIG hat bekanntlich nachgewiesen, dass bei den Herbivoren die im Futter eingeführte Fettmenge nicht, wie DUMAS und BOUSSINGAULT behauptet hatten, hinreiche, die Fettmenge, die bei der Mastung oder Milchbildung erzeugt wird, zu erklären. Es muss sonach das Fett im Körper des Pflanzenfressers aus einer anderen Substanz: aus Kohlehydraten oder Eiweiss entstehen. LIEBIG neigte sich zu der ersteren Ansicht; eine Anzahl neuerer Physiologen glauben, dass sich an der Fettbildung bei Mästung und Milchbildung auch das Albumin betheilige; VOIT, SUBBOTIN u. A. theilen dem Eiweiss allein diese Rolle zu, VOIT nach Beobachtungen, die er gemeinsam mit PETTENKOFER am Hunde und allein an einer Milchkuh angestellt hat. Die oben angeführte Beobachtung über die nöthige Relation der Eiweissstoffe zu den stickstofffreien Futterbestandtheilen zur Mast und Milchbildung erklärt VOIT daraus, dass zur Mästung möglichst wenig »circulirendes Eiweiss«, das den Stoffumsatz steigert, gebildet werden müsse. Diese Relation müsse nach dem jeweiligen Körperstand des Mastthieres verschieden sein. Die Akten über die Fettbildung sind aber noch keineswegs abgeschlossen, worauf schon an mehreren Stellen hingedeutet wurde, die Betheiligung der Kohlehydrate an der Fettbildung keineswegs widerlegt.

Die Bienen bilden Wachs aus Kohlehydraten, wie die Untersuchungen von ERLENMEYER und v. PLANTA-REICHENAU mit Sicherheit ergeben haben.

Krankenkost.

Es mag hier noch daran erinnert werden, dass für Kranke das Infusum carnis mit etwa 1% Eiweiss und der frisch ausgepresste Fleischsaft 6—9% Eiweiss, die am leichtesten zu verdauende albuminhaltige Nahrung darstellt. Natürlich muss noch möglichst mit Kohlehydraten nachgeholfen werden; wenn Leberthran vertragen werden sollte, wäre er der beste Zusatz, ausserdem Arrowroot, auch Compote mit Zucker etc., Fleischsuppen in solchen Flüssigkeitsquantitäten, dass sie den an sich geringen Appetit für andere Nahrung möglichst wenig beeinträchtigen. Die Nahrung muss gut gesalzen sein. Als Nervenreizmittel neben Fleischbrühe namentlich Kaffee und schwarzer Thee, Wein, Bier. Gutes Bier hat oft vortreffliche Wirkung, da es auch die Verdauungsstärke des Magens hebt. Ueber Molke, Kräutersäfte etc. cf. oben. Ein abgemagerter Reconvalescent setzt bei einer kärglichen Diät schon an und kräftigt sich, mit der er in gesunden Tagen darbt. Mit seiner Kräftigung steigt sein Nahrungsbedürfniss (s. oben).

Unter Umständen sehr wirkungsvoll ist eine von J. v. LIEBIG veröffentlichte Vorschrift eines Nahrungsmittels für Kinder und Altersschwache. Das Nahrungsmittel ahmt die Milch nach, als deren Ersatz sie vor Allem gedacht ist: »doppelt concentrirte Muttermilch«. Es enthält neben einer geringen Menge wirklicher Milch alle nährenden Bestandtheile derselben. Ein Zuckerzusatz findet nicht statt, da die Stärke des Weizenmehles durch das beigegebene Malz in Zucker verwandelt wird.

Die Mischung besteht aus:

17,5 Gramm feines Weizenmehl,
17,5 – gemahlenes Weizenmalz (auf der Kaffeemühle gemahlen),
30 Tropfen kohlensaures Kali (die Lösung besteht aus 8 Theilen Wasser auf 1 Theil kohlensaures Kali),
175 Gramm Milch,
32 – Wasser.

Diese Mischung wird zuerst auf gelinder Wärme (60—70° C.) längere Zeit erhalten, bis die Stärke durch das Malz in Zucker verwandelt ist, dann gekocht und durch ein feines Haarsieb getrieben. Der Geschmack ist angenehm süss, durch den Malzgeschmack noch gebessert. Es wird selbst von neugeborenen Kindern gern genossen und meist mit dem trefflichsten Erfolg, doch muss es für solche auf das doppelte Volumen mit Wasser verdünnt werden.

Die Zubereitung gelingt bei einigem Aufmerken leicht. Man darf nur anfänglich die Hitze nicht zu sehr steigern, bis der Geschmack deutlich und stark süss wird. Nach neuerer Vorschrift kocht man zuerst das Mehl mit der Milch zu einem Brei gar, und setzt dann das mit etwa 2 Löffel kalten Wassers angerührte Malz zum heissen Brei, dessen Temperatur dadurch gehörig sinkt, so dass nun die Zuckerbildung an einem mässig warmen Ort reichlich vor sich geht. Der Brei wird nach und nach dünnflüssig und schmeckt dann deutlich süss. Ist beides eingetreten, so wird es aufgekocht und durch das feine Sieb getrieben. Man bedarf dann keiner Thermometerbeobachtung, wie nach der ersten Vorschrift.

F. W. Beneke hat sich bei Kindern, bei denen Ammenmilch und alle andere Kost nicht vertragen wurde, von der günstigen Wirkung der »Revalenta arabica« überzeugt. Nach Carius' Analyse dem Linsenmehle sehr nahestehend, zeigt es das Verhältniss der stickstoffhaltigen Nährstoffe zu den Kohlehydraten wie 1 : 2, während es in der Muttermilch wie 1 : 3,8—4 ist. Dieses Verhältniss lässt sich durch Zumischen anderer feiner Mehlsorten (gleiche Mengen von Linsenmehl und andern Mehlsorten) leicht erreichen. Die Mischung, mit Kochsalz und kaltem Wasser angesetzt, wird etwa eine Stunde gekocht. Er beobachtete keine Blähungen. Auch A. Strümpell rühmt als Krankenkost, nach sehr genauen Versuchen, den Werth des feinvertheilten Leguminosenmehls, wie es von Hartenstein in den Handel gebracht wird, in Suppenform. Es enthält in 100 Theilen lufttrocken: 3,3 N; 21,28 Eiweiss, 71,6 Kohlehydrate, 1,5 Fette und 2,8 namentlich phosphorsaure Salze. Es wird im Darm bis auf 8% seiner Eiweissstoffe ausgenutzt, also mehr als Brod und fast ebenso stark wie Fleisch, während bei unenthülsten, ganzen Linsen bis zu 40% ihres Eiweisses unaufgenommen bleibt. G. v. Liebig's Sohn Moltoleguminose leistet bei Säuglings-Ernährung gute Dienste. F. Pentzoldt empfiehlt unter Zusatz von Salicylsäure, um die Gährung zu vermeiden, das Pflanzeneiweiss des Leguminosenmehls durch Pepsin oder Pankreasferment in Pepton zu verwandeln: 250 Grm. feinstes Erbsenmehl, 1 Liter Wasser, 1 Grm. Salicylsäure, 0,5 Grm. gutes Pepsin, 24 Stunden bei nicht über 30° C. unter öfterem Umrühren digerirt, dann colirt und bei gelinder Wärme etwas eingeengt. Die Suppe sei durch passende Zusätze schmackhaft zu machen. Für Typhuskranke schlägt Bss eine Pepton-Traubenzuckerernährung vor, für den Tag: 100 Grm. Fleischpepton, 300 Grm. Traubenzucker, 200 Grm. Rum oder Cognac mit Wasser auf ein Volum von 600 cc verdünnt, davon mit gleichen Theilen Eiswasser gemischt zu nehmen.

Lebensalter und Ernährung. — Die Ernährungsverhältnisse werden bedingt durch die Körperkonstitution und die Energie des Stoffumsatzes. Von der schwankenden chemischen und anatomischen Zusammensetzung des menschlichen Organismus in den verschiedenen Lebensaltern, Geschlechtern und Konstitutionen war in dem Vorstehenden mehrfach die Rede. Diesen Schwankungen entsprechen ebenso bedeutende in der Intensität des Stoffwechsels, welche theils in dem verschieden grossen Blutreichthum, mit dem der Säftestrom auf- und abwärts schwankt, dem schwankenden Verhältniss der Verdauungsorgane zu den Bewegungsorganen und deren Thätigkeit S. 231 ihre Erklärung findet. Zum Theil beruht sie aber auch auf der verschiedenen Qualität der Nahrung, grösseren Energie der Blut- und Säftebewegungen u. a. Mit der Zunahme der Körpergrösse nimmt die Oberfläche, an der die Wärmeabgabe, Wasserverluste etc. stattfinden, relativ ab. Ueber diese Verhältnisse sind die speciellen Capitel zu vergleichen. In der ersten Lebensperiode sehen wir die absolute Intensität des Stoffwechsels erst rasch, dann langsamer ansteigen, dann sehen wir sie zunächst mit Zunahme des Fettgehaltes des Organismus (Geschlecht und Konstitution), dann mit zunehmendem, dekrepirtem Alter anfangs rascher, dann langsamer sinken, entsprechend der Abnahme des Körpers an Organgewicht oder wenigstens an Gewicht der festen Organstoffe, Abnahme der Energie der Säfte- und Blutbewegungen, und der Blutverarmung. Anders verhält sich die relative Stärke des Stoffwechsels, auf das Körpergewicht bezogen. Hier zeigen sich die Stoffwechselvorgänge am intensivsten im ersten Lebensjahre, von wo an sie relativ erst etwas schneller, dann lang-

samer sinken. Wie aus dem Obigen sich ergibt, kann (durch grossen Fettreichthum und Alter) der Stoffwechsel nicht nur relativ, sondern auch absolut sinken. Mit dem Gesagten hängt die nach dem Körpergewicht und Lebensalter schwankende Menge der nothwendigen Nahrungszufuhr direct zusammen. Nach Bartsch beträgt die Milch, die ein Säugling am ersten Tag erhält, etwa 20 Gramm, am fünften Tag schon 500 Gramm = $^1/_7$ des Körpergewichts. Im späteren Verlauf der Säuglingszeit nimmt er täglich etwa 1300 Gramm = $^1/_6$ bis $^1/_5$ des Körpergewichts auf. Beim ruhenden Erwachsenen beträgt die Nahrungsmenge in 24 Stunden etwa $^1/_{20}$ seines Körpergewichts. Auch die Menge an fester Nahrung: Eiweissstoffe, Fette, Kohlehydrate, welche ein Kind im ersten Lebensjahre fordert, ist, relativ auf gleiches Körpergewicht gerechnet, um mehr als das Doppelte grösser als selbst das des Arbeiters bei grösstem Nahrungs- und Kraftverbrauch. Namentlich macht sich der Mehrbedarf bei dem Eiweissverbrauch geltend, er ist bei normaler Ernährung durch Muttermilch um mehr als viermal grösser als bei dem angestrengtesten Arbeiter.

Die nothwendige Nahrungsmenge vermindert sich relativ mit dem zunehmenden Alter des Kindes, stets bleibt sie aber im Verhältniss bedeutender als für den Erwachsenen.

J. Forster bestimmte für ein wohlgenährtes $1^1/_2$ Jahre altes Kind in der täglichen gemischten Nahrung: 36 Eiweiss, 27 Fett, 151 Kohlehydrate. Hildesheim rechnet auf Kinder von 6—10 Jahren im Tage 69 Eiweiss; 21 Fett; 210 Kohlehydrate. C. Voit berechnet aus der Kost des in sanitärer Beziehung mustergiltigen Münchener Waisenhauses für Kinder im Alter von 10—15 Jahren am Tage: 79 Eiweiss; 35 Fett; 251 Kohlehydrate. Ein Kind von 10—11 Jahren wiegt etwa 23 Kilogramm. Der Eiweissverbrauch für einen Erwachsenen beträgt in 24 Stunden etwa 2 Gramm Eiweiss für 1 Kilogramm Körpergewicht, für das heranwachsende Kind 3,4 = 70 % mehr. Der Fettgehalt der Kindernahrung ist relativ doppelt so gross, als ihn der Moleschott-Voit'sche Kostsatz (S. 234, 235) für den Arbeiter fordert.

Im höheren Alter sinkt schliesslich bei Männern und Frauen ziemlich gleichmässig die Organarbeit in allen Körperorganen auf ihr relatives Minimum herab, damit sinkt auch der Stoffverbrauch immer tiefer, bis er wieder auf die absolute Grösse herabgekommen ist, wie bei Kindern am Ende des ersten Lebensdecenniums. Das Nahrungsbedürfniss eines Individuums in Altersversorgungshäusern und in Erziehungsanstalten solcher Kinder sind daher die gleichen. Vergleiche darüber noch im Folgenden: Harnausscheidung und Thätigkeitswechsel der Organe S. 213 etc.

Die Nahrung mancher niederen Thiere, Holz-, Haare, Federn etc., enthält dieselben Gruppen der Nahrungsbestandtheile (Albuminate und stickstofffreie Nährstoffe) wie die der höheren Thiere. Die Haare werden vorzugsweise nur am weichen Wurzelende angegriffen.

Möbius hat die Frage experimentell erörtert: wo kommt die Nahrung für die Tiefseethiere her? G. C. Wallich hatte die Meinung ausgesprochen, dass den Rhizopoden der Tiefsee die Fähigkeit zukomme, aus dem sie umgebenden Medium die elementaren Bestandtheile ihres Körpers abscheiden, d. h. sich nach Art der chlorophyllhaltigen Pflanzen ernähren zu können. Möbius erklärt dagegen, dass nach Allem, was wir über die Verbreitung der Thiere auf dem Land und auf dem flachen Meeresboden wissen, wir annehmen müssen, dass auch die Ausbreitung der Tiefseethiere hauptsächlich an die Gegenwart vegetabilischer Substanzen geknüpft ist. »Haben wir doch bis jetzt nur solche Tiefseethiere kennen gelernt, die den auch in den höheren Regionen lebenden Klassen angehören, und die demnach auch mit diesen dieselben wesentlichsten Lebensbedingungen theilen werden«. Durch Versuche in der Helgolander Bucht, die er durch Experimente in Aquarien bestätigte, konnte Möbius nachweisen, dass die abgestorbenen Wasserpflanzen, wenn ihre Gase entwichen sind, namentlich durch Sinkströmungen auf den Meeresboden geführt werden, wo sie sich mit Resten abgestorbener Seethiere und Schlamm und Sand zu einer reichlich Moderstoff enthaltenden fuss- bis klafterhohen Schicht: Schlick vereinigen. Von den Stoffen dieser hauptsächlich vegetabilischen Masse, in deren Theilchen man oft noch die pflanzliche Zellstructur erkennen und die Cellulose mit Jod und Schwefelsäure nachweisen kann, nähren

sich von Moderstoffen lebende Thiere, welche dann selbst für andere, welche die Moderfresser verzehren, zur Nahrung dienen. Ueberall wo man in grossen Tiefen Thiere fand, war der Boden schlickig.

Nahrungsbedürfniss. Hunger. Durst.

Die Nahrungsaufnahme, an welche die Fortdauer des Lebens geknüpft ist, wurde nach den Gesetzen der Natur nicht der absoluten Willkür des Individuums überlassen. Die Natur verwendet zur Sicherung der Erfüllung ihrer Hauptzwecke in der organischen Welt: der Erhaltung des Geschlechtes und der Erhaltung des Einzelwesens, unwiderstehliche Triebe, welche instinktmässig zu den Handlungen, die dem Naturzwecke entsprechen, antreiben und ihre regelrechte Ausübung lehren.

Eine Reihe eigenthümlicher Gefühle, die wir als Hunger und Durst kennen, veranlasst den Menschen, Nahrung zu sich zu nehmen.

Die örtliche Hungerempfindung ist anfänglich auf den Magen beschränkt und scheint vom Nervus vagus angeregt zu werden. Es sind drückende, nagende Gefühle, mit Bewegungen, Zusammenziehen, Uebelkeit, Gasanhäufung, später mit Schmerzen verbunden. Der Grund des Hungers liegt zweifellos in gewissen Veränderungen der sensiblen Magennerven, und sind wahrscheinlich durch die mangelnde Blutzufuhr zum leeren Magen bedingt. Es scheint, dass, sobald die Blutmenge, welche durch die Kapillaren der Magenwand strömt, unter eine bestimmte Grösse in der Zeiteinheit herabsinkt, die dadurch gesetzte Störung der Nervenernährung zum Bewusstsein kommt. Es geht daraus hervor, dass jede stärkere Anfüllung mit Blut, welche die Magengefässe ausdehnt, das Hungergefühl unterdrückt, bei krankhafter Kongestion ebenso wie durch Anfüllung des Magens mit Speisen, welche die Drüsennerven reizt und stärkeren Blutzufluss erzeugt. Alles, was die Blutmenge des Körpers überhaupt vermindert, erzeugt normal auch Hunger: Muskelanstrengungen, Stoffverluste (Samen-, Milch-, Eiterverlust), **Wachsthum, Ansatz nach Krankheiten**. Auch durch gewisse Eingriffe in die chemischen Vorgänge der Nerven kann das Hungergefühl gestillt werden. Vor Allem sehen wir mit diesem Erfolge die Einführung gewisser narkotischer Genuss- oder Arzneimittel verbunden: Tabak (Nikotin), Opium, Alkohol; vielleicht wirken einzelne dieser Stoffe zugleich darum hungerstillend, weil sie den Blutzufluss zu dem Magen steigern, letzteres ist wenigstens vom Alkohol, dessen Missbrauch zu chronischer Kongestion der Magenschleimhaut führt, mehr als wahrscheinlich.

Die Betheiligung des Nervus vagus am Hungergefühle ist durch Vivisectionen noch nicht deutlich nachzuweisen gewesen. Hunde und Katzen fressen auch nach der Durchschneidung des Vagus am Halse noch. Man schliesst auf ihn als Hungernerven, weil er andere Empfindungen des Magens vermittelt. Bei hohem Grade von Hunger scheinen sich endlich auch die sensiblen Nerven des Dünn- und Dickdarmes mit an dem Hungergefühl zu betheiligen. Sie vermitteln letzteres allein, wenn durch Behinderung des Magenabflusses der Magen gefüllt ist, aber Nichts in den Darm gelangen kann, wobei dann doch das Bedürfniss nach Mehrzufuhr von Nahrung eintritt. Letzteres kann gestillt werden, wenn in den Dünn- und Dickdarm Nahrung eingeführt wird (Tiedemann, Busch u. v. A.).

Ein Theil des Hungergefühls ist ein psychischer Vorgang. Es deprimirt den Geist, zur gewohnten Zeit keine Nahrung aufzunehmen. Dass wir es bei dem gewöhnlichen Hunger Gesunder in vielen Fällen nur mit der unbefriedigten Gewohnheit der Nahrungszufuhr zu thun haben, ergibt die Thatsache, dass der Hunger rasch wieder verschwindet, wenn zur gewohnten Zeit keine Speisen genossen wurden. Alle intensive geistige Beschäftigung unterdrückt, wie andere Empfindungen, auch den Hunger. Das Gefühl der Hinfälligkeit bei längerem Hunger ist zunächst weit entfernt, wahre Kraftlosigkeit zu sein. Bei meinen Beobachtungen über den Hunger an mir selbst war das Befinden nach Schluss des ersten Hungertages noch vollkommen ungestört. Nach 41 bis 47 Stunden war nach unruhigem Schlafe

etwas Schwere im Kopf, Magendrücken und ziemliches Schwächegefühl vorhanden. Das Nahrungsbedürfniss zeigte sich nicht mehr. Geringe Quantitäten getrunkenen kalten Wassers erregten Brechneigung. Erst einige Stunden nach sehr geringer Nahrungszufuhr (Kaffee) stellte sich normaler Appetit ein. Das Hungergefühl war nach etwa 30 Stunden Hunger am lebhaftesten. Das Verschwinden des Hungers ohne Nahrungsgenuss zeigt, dass auch die sensiblen Magennerven schliesslich ermüden. Bei längerem Hungern stellt sich endlich wirkliche, immer mehr zunehmende Kraftlosigkeit ein, Abmagerung, Fieber, Irrereden, die heftigsten Leidenschaften abwechselnd mit tiefster Niedergeschlagenheit. Der Magen zieht sich zusammen, die Absonderungen werden immer spärlicher; Milch, Speichel, Galle, Gift der Schlangen, Eiter der Wunden (krankhafte Sekrete) werden nicht mehr abgesondert.

Die Versuche über die Lebensdauer hungernder Thiere und Menschen ergeben, dass warmblutige Thiere am wenigsten ausdauern. Niedere Wirbelthiere hungern ausserordentlich lange: ein Proteus anguineus lebte 5 Jahre lang in erneuertem Brunnenwasser. Auch Wassersalamander, Schildkröten kann man Jahre lang ohne Nahrung erhalten, Schlangen halbe Jahre (J. Müller); ein afrikanischer Skorpion lebte ohne Nahrung 9 Monate. Vögel leben 5—28 Tage, Hunde 25—36 Tage ohne Speise und Trank. Gesunde Menschen ertragen Hunger und Durst gewöhnlich nicht viel länger als eine Woche, selten mehr als zwei Wochen, Kranke, besonders Irre, viel länger. Bei Wasseraufnahme kann der Hunger länger ertragen werden. Tiedemann führt Fälle an, in welchen Hungernde, welche Wasser geniessen konnten, 50 und mehr Tage ausdauerten. Monate oder Jahre langes vollkommenes Fasten ist Betrug. Manche Krankheitszustände setzen aber das Nahrungsbedürfniss ungemein herab; besonders thun das gewisse Rückenmarksleiden, bei denen vielleicht an das Kaltblütigmachen von Säugethieren durch gewisse Rückenmarksverletzungen, wie Bernard gelehrt hat, gedacht werden darf. Bei alten, sehr wasserreichen Individuen ist das Nahrungsbedürfniss oft ebenfalls ungemein gering, entsprechend dem sehr verminderten Gewebsumsatz. Sehr merkwürdig ist die Bemerkung Magendie's, dass, wenn man Thiere eine längere Zeit mit einem zum vollkommenen Ersatz unzureichenden Nahrungsstoffe gefüttert hat, mit dem allein sie zuletzt umkommen müssten, sie durch Herstellung ihrer gewöhnlichen Nahrung endlich nicht mehr gerettet werden könnten. Das Thier frässe zwar mit Begierde, doch sterbe es etwa zur selben Zeit, bei der es bei dem theilweisen Hunger unter der vorigen Nahrung zu Grunde gegangen wäre. (Weiteres über Verhungern cf. oben S. 220 f.)

Das Durstgefühl, welches uns zur Wasseraufnahme treibt, ist wie das Hungergefühl weder von der Acidität des Magensaftes noch von der Leerheit des Magens abhängig (Ch. Richet). Das Durstgefühl besteht in Empfindung von Trockenheit, Rauhheit und Brennen im Schlunde, im weichen Gaumen und der Zungenwurzel. Durchtränkung und Befeuchtung dieser Partien stillt den Durst, so dass daraus hervorgeht, dass die Durstnerven (Vagus? Glossopharyngeus? Trigeminus?) in jenen Schleimhautabschnitten endigen. Der letzte Grund der Erregung der Durstnerven beruht zweifellos in Wasserentziehung aus der Nervensubstanz. Sie kann durch allgemeinen Wasserverlust des Blutes durch Schweiss, verstärkte Wasserabgabe in den Lungen oder durch den Harn nach starker Salzzufuhr zu dem Blute, welche die Harnabsonderung steigert, nach starken wässerigen Darmentleerungen eintreten, ebenso aber durch lokale Vertrocknung der dursterregenden Schleimhautabschnitte. So kann analog der Durst wie durch örtliche Befeuchtung des Rachens auch durch directe Einführung von Wasser ins Blut, z. B. durch Einspritzen, gestillt werden.

Es schien früher unerklärlich, warum im Hungerzustande endlich das Bedürfniss nach Flüssigkeitsaufnahme schwindet. Abgesehen von der lokalen Einwirkung auf die Magenschleimhaut ist hier aber an die Thatsache zu denken, dass durch Hunger die Gewebe wasserreicher werden, wie C. Voit an Katzen, ich an Fröschen gezeigt haben.

Dem Nahrungsbegehren steht entgegen das Gefühl der Sättigung und zuletzt das des Ekels, des Abscheues vor Nahrungsaufnahme, verbunden mit antiperistaltischen Magenbewegungen, die zur Entleerung des Magens führen können: Erbrechen.

Das Gefühl der Sättigung ist sowohl ein lokales als ein allgemeines. Das lokale besteht in einem leichten Druckgefühl, von dem gefüllten Magen auf die Bauchdecken und das Zwerchfell hervorgebracht. In allgemeiner Beziehung äussert sich die Sättigung im Gefühl der Kraft, verbunden mit Heiterkeit und Bonhommie. Die Uebersättigung ist davon als eine krankhafte Erscheinung wohl zu trennen: sie zeigt sich in vermehrtem, empfindlichem Magendrücken und im Gefühl der Völle, allgemeiner Abgeschlagenheit, Müdigkeit, Unlust zu Bewegungen und geistigen Beschäftigungen, Missmuth. An einer früheren Stelle wurden schon diese Erscheinungen erwähnt und auf die Anwesenheit gewisser Stoffe: Ermüdungsstoffe im Blute zurückgeführt (Milchsäure, Kalisalze etc.), welche in geringen Mengen erregend, in grösseren ermüdend wirken. Mit dem Gefühl der Sättigung hört das Verlangen nach Nahrungsaufnahme auf; bei Uebersättigung erregt die Erinnerung an Speisen durch Geruch etc. ein Ekelgefühl, das bis zur Brechneigung steigen kann. Es scheint, dass dieses Gefühl des Ekels, das deutlich vom Magen ausgeht, theilweise in einer Ueberreizung der Magennerven durch übermässige Blutzufuhr beruht. Bei der Darreichung von Tartarus stibiatus in brechenerregender Dosis, auch subkutan eingespritzt, tritt eine bedeutende Blutkongestion gegen die Magenschleimhaut ein, die (bei Fröschen) bis zum Bluterguss in den Magen steigen kann. Für diese Annahme spricht auch, dass sich das Gefühl der Sättigung, Uebersättigung, des Ekels eines aus dem andern ohne scharfen Uebergang entwickelt, so dass alle aus derselben Ursache in verschiedener Stärke einwirkend erklärt werden müssen. In anderen Fällen beruht das Ekelgefühl, wenigstens die Brechneigung, sicher auf reflektorischen Reizen. Kitzeln der Rachenhöhle, Schleimanhäufung an dieser Stelle, gewisse Geruchs- und Geschmackseindrücke etc. wirken auf diesem Wege.

Man nimmt an, dass der Genuss einiger besonderer Speisen Hunger erregen könne. Man hat diesen Vorgang bisher meist missverstanden. Da das Verschwinden des Hungergefühles unter Umständen auf einer Art von Halbparalyse der Hungernerven beruht, so kann der Hunger in diesem Falle dadurch erregt werden, dass durch anfänglich geringe, normale Lebensreize die Erregbarkeit der Nerven wieder erhöht wird. Beispiele liefern meine u. A. Beobachtungen bei Hunger S. 249. Jedem ist bekannt, dass bei gesundem Hunger nach den ersten Bissen der normale Appetit nicht abnimmt, sondern steigt. So ist die Appetitsreizung durch gewisse leichtverdauliche und die Magenthätigkeit anregende Gerichte, z. B. Austern, zu verstehen.

Untersuchungsmethode.

Die Methode ist schon oben im Allgemeinen skizzirt worden (S. 216 f.).

Auf die Umsatzverhältnisse im thierischen und menschlichen Organismus kann man zurückschliessen vor Allem aus den beobachteten Quantitäten der den Körper durch die Ausscheidungsvorgänge verlassenden Stoffe. Schon Liebig hatte den Satz ausgesprochen, dass aller dem Umsatze stickstoffhaltiger Körperbestandtheile entstammender Stickstoff im Harne wiedererscheine, dass wir in dem Stickstoffgehalt (Harnstoffgehalt) des Harnes demnach ein Maass für diese Umsetzungen haben. Durch die Arbeiten von Bischoff, Pettenkofer und Voit, auf welche sich das in dem vorstehenden Capitel Angegebene, abgesehen von meinen Untersuchungen, vor Allem stützt, ist dieser Satz für den Fleischfresser (Hund) bestätigt worden, von letzterem Autor noch für andere Thiere, Katzen, Taube; von Henneberg für Ochsen, von mir für den Menschen. Wir haben also in der Bestimmung des Stickstoffs im Harn, zu welcher Liebig die bekannten leicht auszuführenden Bestimmungen des Harnstoffes und des Gesammtstickstoffs schuf, ein Mittel, den Eiweissverbrauch im Körper zu kontroliren. Es muss der Harn dazu natürlich für die Beobachtungszeit vollkommen gesammelt und untersucht werden.

Der grösste Theil des Kohlenstoffs, der in den zersetzten stickstoffhaltigen Körperbestandtheilen enthalten war, geht als Kohlensäure in der Respiration weg. Ein geringer Theil verlässt den Körper im Harne. Aus der Menge des Kohlenstoffs der Respiration, der in Respirationsapparaten aufgefangen werden kann (für Menschen und grössere Thiere mit dem Athem-

apparate von M. v. PETTENKOFER), kann man ersehen, im Vergleich mit der während derselben Zeit ausgeschiedenen Stickstoffmenge, ob die erstere z. B. allein von Eiweiss und anderen stickstoffhaltigen Körperstoffen oder neben diesen von stickstofffreien, Fett u. a. stammen konnte.

Die Einheit der Untersuchungsperioden ist gewöhnlich ein Tag = 24 Stunden.

Bei den Versuchen kommt selbstverständlich Alles auf Genauigkeit der quantitativen und qualitativen chemischen Bestimmungen der Nahrungsstoffe und Exkrete an.

Aus dem im Text Mitgetheilten geht das Uebrige zur Genüge hervor.

Auf Ansatz von Eiweissstoffen, als Repräsentanten aller stickstoffhaltigen Körperstoffe, schliesst man gewöhnlich, wenn im Harn und Koth weniger Stickstoff erscheint, als in der Nahrung gereicht wurde; auf Abgabe, wenn in den Sekreten mehr auftritt, als in den Nahrungsstoffen enthalten war, oder wenn, wie im Hunger, der Organismus im Harne Stickstoff abscheidet, ohne dass er überhaupt von Aussen Nahrung erhalten hätte.

Analog ist es bei dem Fett, auf dessen Verbrauch im Hunger man schliesst, wenn mehr Kohlenstoff ausgeschieden wird, als der aus dem Stickstoffgehalt des Harnes gerechneten Eiweisszersetzung entspricht, z. Th. stammt der Kohlenstoff dann natürlich auch aus den Kohlehydraten des Körpers (Glycogen, Zucker etc.). Aehnlich ist es bei Nahrungsaufnahme, wo auch der Vergleich des Kohlenstoffgehaltes der Nahrung mit dem der Körperausscheidungen ergibt, ob ein vollkommener Ersatz durch die Nahrung oder eine Mehrausgabe von Körperstoff oder ein Stoffansatz stattgefunden habe. Die bei den Ernährungsversuchen gegebenen Beispiele dieser Berechnung werden das Princip anschaulich gemacht haben.

Für den Arzt kann es vom grössten Interesse sein, den Umsatz der Körperstoffe unter verschiedenen Umständen bei Gesunden und Kranken, bei wechselnder Nahrung und Arzeneien etc. einer Untersuchung zu unterwerfen. Man begnügte sich vor den BISCHOFF-VOIT'schen Untersuchungen meist damit, den Harnstoffgehalt nach der LIEBIG'schen Methode (siehe Harn) zu bestimmen. So werthvoll derartige Bestimmungen z. B. für den Umsatz bei Hunger, im Fieber etc. geworden sind, so können über die Mehrzahl der betreffenden Fragen doch nur genau angestellte Untersuchungen aller Exkrete auch die Kohlensäure mit gleichzeitiger Berücksichtigung der Sauerstoff- und Nahrungseinnahmen zutreffende Antworten ertheilen.

Für die Anstellung solcher Versuche ist zu merken, das frisches Fleisch von ungemästeten Thieren, das man zuerst mit dem Messer, dann ganz sorgfältig mit der Scheere von allem sichtbaren Fett, gröberem Bindegewebe, Gefässen, Nerven befreit hat, wozu man es in kleine Stückchen zerschneiden muss, nach VOIT einen ziemlich gleich bleibenden Stickstoffgehalt besitzt, so dass jedesmalige Analysen nicht nothwendig sind. Man muss aber das Fleischgewicht, das zur Ernährung dienen soll, roh bestimmen, da das gebratene oder gekochte Fleisch in seinem Stickstoffgehalt Differenzen von mehreren Procenten ergibt, weil der Wasser- und Fettgehalt in den verschiedenen Partien desselben Stückes verschieden wird. Schmalz und Stärkemehl können mit einen Tag altem rindefreiem Bäcker-Brod (man muss die Rinde abschneiden, die keinen konstanten Wassergehalt hat) als weitere Nahrungsmittel von bekannter Zusammensetzung dienen. Butter schwankt sehr im Casein- und Wassergehalt, Kartoffeln nach der letzteren Richtung. Eiereiweiss kann auch als Nährsubstanz mit verwendet werden. Es hat nach LEHMANN roh 13,0% feste Stoffe, von denen 12 Albumin sind, das Uebrige sind Extraktivstoffe und Salze. Aus diesen Substanzen setzt man die Kost des Ernährungsobjectes zusammen, indem man das Fleisch mit dem Schmalz in der Pfanne brät und aus Stärkemehl, Eiweiss, Wasser, Salz und Fett eine einfache Mehlspeise: Pfannkuchen oder »Schmarren« bereiten lässt. Die zur Zubereitung der Speisen benutzten Gefässe müssen gut ausgekratzt werden, da es darauf ankommt, alle Stoffe daraus auch wirklich zu erhalten. Die Quantitäten sind oben angegeben. Der menschliche Körper setzt sich mit ausreichender Nahrung in wenig Tagen ins »Stickstoffgleichgewicht« (VOIT). Ist das eingetreten, wird ebensoviel Stickstoff im Harn und Koth bestimmt, als in der Nahrung enthalten ist, so können nun Einflüsse auf die Ernährungsweise studirt werden. Im Koth, dessen Stickstoffgehalt berechnet werden kann,

muss meist wenigstens eine Wasserbestimmung gemacht werden. Die Methoden der Harnanalyse vergleiche man bei Harn. Den Koth, der auf die Versuchstage trifft, grenzt man dadurch ab, dass man mit der letzten Nahrung vor Anfang und Ende des Versuchs Preisselbeeren geniesst, die im Koth unverdaut abgehen und den auf einen bestimmten Tag treffenden Koth erkennen lassen.

Zur Berechnung bei den Ernährungsversuchen dienen die folgenden Tabellen über die frische und bei 100 % trockene Substanz (Bischoff und Voit, J. Ranke):

	Wasser	Feste Stoffe	Kohlenstoff		Wasserstoff		Sauerstoff		Stickstoff		Salze	
			trocken	feucht	trocken	feucht	trocken	feucht	trocken	feucht	trocken	feucht
Eiweiss, trocken . .	—	—	54,96	—	7,15	—	21,73	—	15,18	—	0,36 S	—
Fleisch	75,90	24,10	51,95	12,52	7,18	1,73	21,37	5,15	14,11	3,40	5,39	1,34
Brod, schwarz, am 2ten Tag, ohne Rinde	46,35	53,65	45,41	24,36	6,45	3,46	41,63	22,33	2,39	1,28	4,12	2,21
Fett (Schmalz . .	—	—	79,00	—	11,00	—	10,00	—	—	—	—	—
Kartoffelstärkemehl lufttrocken) . . .	15,79	84,21	44,20	37,22	6,70	5,69	49,10	41,35	—	—	—	—
Harnstoff	—	—	20,00	—	6,66	—	26,67	—	46,67	—	—	—
Harnsäure	—	—	35,72	—	2,38	—	28,57	—	33,33	—	—	—
Koth des Menschen bei reiner Fleischkost (salzfrei) . .	—	—	54,70	—	—	—	—	—	12,20	—	11,9	—
Koth des Menschen bei gemischter Kost (im Mittel) . . .	—	—	47,00	—	—	—	—	—	6,12	—	12	—
Stärke-Fettkoth des Menschen . . .	—	—	54,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Der Caseingehalt der Butter schwankt zwischen 0,5 und 1,5 %, der Wassergehalt zwischen 6 und 8 %. Lufttrockener Reis enthält 10 % Wasser und 1,3 % Stickstoff. Kartoffeln enthalten etwa 75 % Wasser und 1,59 % Stickstoff in der trockenen Substanz und 3 % Salze.

Der Wassergehalt des Menschenkothes ist gewöhnlich 70 % für geballten Koth; fester Koth ergibt nur 63 %, breiiger 83 % Wasser.

Nach Voit's Zusammenstellung stehe hier für Berechnungen in Ernährungsfragen die Zusammensetzung der wichtigsten Nahrungsmittel:

I. Nahrungsstoffe aus dem Thierreiche enthalten in %:

(Fleisch ohne Knochen sorgfältig von Fett und groberem Bindegewebe befreit, ausgeschnitten.)

	Wasser:	Eiweiss:	Fett:	
Ochsenfleisch, mager . .	75,0	18,0	3.5	Wolff = W.
- - . .	75,9	21,9	0.9	Voit = V.
- - . .	73,4	21,0	4.4	Hildesheim = H.
Ochsenfleisch, fett . . .	65,5	16,2	14.5	W.
- -	74,7	15,8	7,9	Kirchner = K.
Kalbfleisch	78,0	15,3	1.3	W.
-	78,7	13,8	6.6	K.
Schweinefleisch	64,0	14.0	17.0	W.
-	60,4	13.9	24.2	K.
Wildpret	77,0	18.0	1.0	W.
Hammelfleisch	72,9	14.5	9.0	-
Hühnerfleisch	77.3	17.5	1.4	-
Taubenfleisch	76,0	18.5	1,0	-
Entenfleisch	71,8	20.4	2.3	-

	Wasser:	Eiweiss:	Fett:		
Karpfen	79,8	13,6	1,1		W.
Hecht	77,5	15,6	0,6		-
Lachs	75,7	13,1	4,9		-
Häring, gesalzen	48,9	17,5	12,7		-
Stockfisch, -	47,0	31,5	0,4		K.
Schinken, geräuchert . .	—	30,0	32,0		
Pökelrindfleisch	—	16,0	8,0		
-	49,1	19,6	10,3		K.
Speck, geräuchert . . .	—	5,0	80,0		
- - . . .	10,7	2,6	77,8		K.
- - . . .	3,7	1,7	94,5		V.
Rindsleber	56,0	16,3	3,2		W.
Kalbsthymus (Bries) . . .	70,0	14,0	?		
Blut	79,3	19,4	0,2		W.
Hühnereier	74,7	13,1	10,4		-
-	71,1	15,4	12,5		H.
Kuhmilch, ganz	87,0	4,0	3,6	und 4,8 Zucker	W.
- -	87,1	4,1	3,9	- 4,2 -	V.
- -	87,2	5,4	3,0	- 3,8 -	H.
Abgerahmte Kuhmilch . .	90,0	4,0	0,5	- 4,8 -	W.
Buttermilch	90,3	3,4	1,0	- 5,0 -	-
Molken	93,0	0,3	0,4	- 5,7 -	-
Butter	12,0	0,3	86,7		-
-	6,0	0,3	90,0		K.
-	15,0	—	80,0		H.
-	7,0	0,9	92,1		V.
Fetter Käse	39,0	32,9	25,0		W.
- -	36,8	33,5	24,3		K.
Magerer Käse	40,0	43,0	7,0		W.

II. Aus dem Pflanzenreich:

	Wasser:	Eiweiss:	Fett:	Kohlehydrate: (Stärkemehl u. Zucker)	
Weizenmehl	12,6	11,8	1,2	73,6	W.
-	12,5	13,3	—	73,5	H.
Roggenmehl	14,0	11,0	1,6	71,9	W.
-	15,5	12,2	—	71,1	H.
Gerste, geschält	12,5	10,0	2,0	73,5	W.
- -	11,8	4,7	—	83,3	H.
Hafermehl	14,0	14,5	6,0	63,4	W.
-	14,2	11,2	6,1	68,5	K.
-	25,0	4,3	2,0	68,7	H.
Mais, geschält	13,5	11,0	7,0	67,6	W.
-	13,4	11,5	—	67,3	H.
Reis	13,5	7,5	0,3	78,1	W.
-	13,1	5,8	—	80,8	H.
Buchweizen, geschält . .	13,0	9,0	1,5	76,5	W.
-	12,7	2,6	0,9	81,8	K.
-	15,1	5,8	—	55,2	H.
Hirse, geschält	14,0	14,5	3,0	66,5	W.
Weizen-Kochgries . . .	11,3	11,3	—	69,8	-

	Wasser:	Eiweiss:	Fett:	Kohlehydrate: (Stärkemehl u. Zucker)	
Schwarzbrod	36,3	8,5	1,3	52,5	W.
- 1 Tag alt, Krume	46,3	8,3	—	44,2	V.
-	40,0	8,0	1,5	49,2	K.
-	45,0	6,2	1,4	46,8	Artmann.
Weissbrod	36,5	7,0	0,5	55,0	W.
- Semmel mit Rinde	28,6	9,6	1,0	60,1	V.
Zwieback aus Weizen . .	8,0	15,6	1,3	73,4	K.
- - Roggen . .	12,3	13,1	1,1	71,6	-
Erbsen	14,3	22,5	2,5	58,2	W.
-	15,5	21,7	—	59,8	H.
Tischbohnen	14,5	24,5	2,0	55,6	W.
-	17,2	22,6	0,7	55,8	H.
Linsen	14,5	26,0	2,0	55,0	W.
-	14,4	29,7	—	53,0	H.
Saubohnen	14,5	25,0	1,3	56,0	W.
Grüne Garten-Erbsen . .	80,0	6,1	0,4	12,4	-
- Schneidebohnen .	91,0	2,0	0,2	6,2	-
Weisskraut	90,0	1,5	0,3	7,1	-
Sauerkraut, gekocht . .	88,8	1,7	0,3	7,9	V.
- frisch . . .	93,5	1,0	0,2	4,6	-
Blumenkohl	90,0	2,0	0,6	6,6	W.
Salat und Spinat	91,7	2,0	0,3	6,0	-
Kartoffeln	75,0	2,0	0,3	21,8	-
- -	73,9	1,9	—	22,9	H.
Topinambur	79,2	2,1	—	?	-
Gelbe Rüben	85,0	1,5	0,2	12,3	W.
Riesenmöhren	87,0	1,2	0,2	10,8	-
Wasserrüben	91,5	0,8	0,1	6,8	-
Mohrrüben	86,7	1,7	—	10,6	H.
Steckrüben	92,5	0,8	—	6,1	-
Aepfel	84,5	0,3	—	14,9	W.
Birnen, frisch	80,0	0,3	—	19,2	-
- gedörrt	22,0	1,2	—	74,9	V.
Zwetschgen	81,0	0,8	—	17,6	W.
Bier	91,9	0,3	3,0 Alkohol	4,5	-
-	94,0	0,4	0,4	5,2	V.

100 Gramm Ochsenfleisch vom Fleischer besteht nach Artmann im Mittel aus: 72 Gramm reinem Fleisch, 8 Fett, 20 Knochen.

Durch das Sieden verliert das Fleisch an Gewicht; 100 Gramm frisches Fleisch geben nach Voit nur 56,7 gesottenes, es entsprechen daher 100 gesottenes Fleisch 176 frischem, im gesottenen sind 37,7% feste Stoffe, doch ist der Verlust nicht gleich bleibend und unregelmässig.

Preise der menschlichen Nahrungsmittel. — J. Koenig berechnet den Preis für 100 Gramm Eiweiss bei animalischer Nahrung (= a) zu 65 Pfg., bei vegetabilischer (= b) zu 15 Pfg. = 4,3 : 1; für 100 Gramm Fett bei a 20 Pfg., bei b 4,5 Pfg. = 4,4 : 1; für 100 Gramm Kohlehydrate bei b 2,5 Pfg.

Sechstes Capitel.

Veränderungen der Nahrungsstoffe in der Mundhöhle.

Verdauung im Allgemeinen.

In den beiden vorausgehenden Capiteln haben wir die Stoffe und ihre allgemeinen Wirkungen im Organismus kennen gelernt, aus denen derselbe seine ihm im Kampfe mit der ihn umgebenden Körperwelt verloren gegangenen Organbestandtheile wieder ersetzt.

Es liegt uns nun ob, die Art und Weise und den Weg kennen zu lernen, auf dem die Nährstoffe die ihnen zum grossen Theile an sich nicht zukommende Fähigkeit erlangen, in die Säftemasse des Körpers einzutreten und von hier aus in die Organe zu gelangen, an denen sie ihre ernährende Wirkung auszuüben haben.

Die Organernährung erfolgt vor Allem aus dem Blute.

Es müssen die in der Nahrung aufgenommenen Stoffe zuerst zu Bestandtheilen des Blutes werden, von dort aus werden sie an die verschiedenen sie bedürfenden Organe abgegeben. Sie treten in den Kapillaren aus dem Blutgefässröhrensysteme aus und beginnen im intermediären Säftestrom eine Wanderung von Zelle zu Zelle. Auf diesem Wege verrichten sie die ihnen zufallenden Functionen: ein Theil wird zur Neubildung verloren gegangener Organbestandtheile verwendet, wird also bis zu einem gewissen Grad in dem Organ gebunden zurückgehalten und damit dem lebhafteren Stoffkreislaufe entzogen; ein anderer Antheil wird von den in den Zellen wirkenden oxydirenden Momenten ergriffen und zersetzt und dient so zur Kräfteproduktion des Organes; ein dritter Antheil tritt in die Anfänge der Lymphgefässe ein und kehrt von da aus zum Blute zurück, um wieder aus ihm den Säftekreislauf von Neuem zu beginnen.

Die in der Nahrung aufgenommenen Stoffe können nur zum Theil sogleich und ohne weitere chemisch-physiologische Umwandlung zu Blutbestandtheilen werden. Vor Allem vermag dieses das Wasser und ein Theil der in wässriger Lösung aufgenommenen und der in dem Wasser der Verdauungsflüssigkeiten löslichen anorganischen und organischen Salze und andere Stoffe wie Alkohol, Zucker, organische Basen etc. Sie werden von den Blut- und Lymphgefässen an jeder Stelle des Verdauungscanales direct aufgesogen.

Nicht alle als Lösungen aufgenommenen Stoffe fallen in die eben besprochene Kategorie. Ein Theil derselben wird durch die chemischen Bestandtheile der Körpersäfte, denen sie nach ihrer Aufnahme begegnen, gebunden und verändert, ohne dass wir hier noch eine eigentlich physiologische Lebenswirkung vor uns hätten. Die alkalische Mundflüssigkeit z. B. verhält sich gegen die aufgenommenen Säuren und sauren Salze ebenso wie eine andere Flüssigkeit derselben Reaktion ausserhalb des Organismus; alkalische Salze werden durch den sauren Magensaft neutralisirt.

Manche in Lösung aufgenommene Stoffe — wie das Caseïn der Milch — werden erst, ehe sie den lösenden Einwirkungen der Verdauungssäfte unterliegen, durch den Magensaft aus ihrer Lösung ausgefällt.

Auch die in fester Form aufgenommenen Nahrungsmittel verhalten sich den Verdauungsorganen gegenüber wesentlich verschieden.

Ein Theil derselben — die Salze und die meisten krystallinischen Stoffe — lösen sich direct in dem Wassergehalte der Verdauungssäfte, meist schon im Speichel, so dass sie dann die gleichen Verhältnisse darbieten, als wären sie schon gelöst aufgenommen worden.

Ein anderer Theil, vor Allem sind hier zu nennen: das Stärkemehl, geronnenes Eiweiss, das leimgebende Gewebe und der Leim, schliesslich das Fett, sind an sich in Wasser und sonach auch in den Verdauungssäften unlöslich; sie erfahren der Hauptmasse nach erst eine verändernde Wirkung, wodurch sie löslich werden, um leicht in die Blutmasse aufgenommen werden zu können. Für die Fettaufnahme bestehen auch Veränderungen der aufsaugenden Organe — der Darmschleimhaut — als Wirkung der Verdauungssäfte, wodurch die Aufnahme ermöglicht wird. Der Gegenstand unserer speciellen Betrachtung sind vor Allem diese letztgenannten Substanzen und die ihre Aufnahme in die Säftemasse herbeiführenden Vorgänge.

Die Physiologen pflegen den Vorgang der Stoffaufnahme in den Verdauungsorganen, analog wie andere Stoffaufnahmen im Organismus, als **Resorption** zu bezeichnen. Es soll damit angedeutet werden, dass wir hier keinen nach den bekannten physikalischen Gesetzen der Diffusion, Osmose, Filtration etc. sich einfach erklärenden Vorgang, sondern eine specifische Wirkung des lebenden Organismus und zwar bei den höheren animalen Wesen namentlich des Protoplasmas ihrer Darmschleimhautepithelien vor uns haben. Es heisst aber das Kind mit dem Bade ausschütten, wenn man nun hierbei die Wirkungen der Diffusion, Osmose, Filtration etc. ganz ausgeschlossen denken wollte. Letztere verbinden sich stets in den von uns für lebende Organe erkannten gesetzmässigen Modificationen (cf. S. 130 ff.) mit der activen Fähigkeit der Stoffaufnahme des lebenden Protoplasmas der Darmepithelien, und bis jetzt sind es diese modificirten physikalischen Vorgänge fast ausschliesslich, welche eine nähere Analyse gestatten.

Die Verdauung beginnt in der Mundhöhle.

Hier werden die festen Speisen durch die Kauwerkzeuge verkleinert und zerrieben und so vorbereitet mit dem alkalischen Sekrete der Drüsen der Mundhöhle vermischt. Ein zusammengesetzter Muskelmechanismus dient dazu, die gekauten Speisen und die Getränke zu verschlucken und weiter zu bewegen,

was nur zum Theil unter dem Einfluss unseres Willens stattfindet. Durch willkürliche Bewegungen übergeben die muskulösen Organe der Mundhöhle, vor Allem die Zunge und Wangen, dem Schlunde den Bissen, der von hier aus dann durch unwillkürliche Muskelactionen in den Verdauungsorganen weiter befördert wird. Die hierbei erfolgenden mechanischen und chemischen Einwirkungen auf die Speisen sind von unserem Willen unabhängig. In seltnen Fällen können wir eine centrale Einwirkung noch nachweisen: es finden sich Verdauungsstörungen durch psychische Einflüsse. Die Stoffe wandern, so weit sie nicht aufgesaugt werden, ohne Zuthun unserer Willkür aus dem Magen in den Darm und erst am Ende des Dickdarmes treten ihre ungelösten und unlöslichen Reste wieder in das Bereich des Willens ein, ihre Entleerung ist bis zu einem gewissen Grade ein willkürlicher Vorgang.

Man hielt bis vor kurzem ziemlich allgemein an der Ansicht fest, dass die Nahrungsstoffe alle aus dem Nahrungscanal in das Blut durch Diffusion aufgenommen werden müssten. Man stützte sich hierbei auf die Thatsache, dass unter der Einwirkung der Verdauungssäfte kolloide, nicht oder schwer diffundirbare Substanzen in diffundirbare Lösungen, Eiweiss z. B. in Pepton, Stärke in Zucker, umgewandelt werden. Nicht alle Stoffe erfordern jedoch eine derartige Umgestaltung. Die Untersuchungen über den Bau der Darmschleimhaut ergaben theilweise offene Wege vom Darm in die Säftemasse des Körpers, auf welchen, wie man seit lange weiss (Brücke), z. B. das Fett als feine Emulsion, also nicht durch Diffusion, aus dem Darm austritt. Angaben von Voit, Fick u. A. machten es bis zu einem gewissen Grade wahrscheinlich, dass auf diese Weise zum Theil auch Eiweissstoffe, ohne in Pepton übergeführt zu sein, aus dem Darm aufgenommen werden können. M. Marckwald konnte jedoch eine solche Aufnahme (flüssiges Hühnereiweiss vom Dickdarm aus) für den Menschen nicht bestätigen.

Uebersicht über den Bau der Verdauungsorgane.

Im Allgemeinen findet sich eine unverkennbare Analogie in dem Bau aller der Organe, welche zur Verdauung, zur Bereitung der Verdauungsflüssigkeiten dienen. Die Hauptsache ist bei allen die Schleimhaut — Mucosa — mit einem geschichteten Epithel, je nach den Regionen aus verschieden gestalteten Zellen zusammengesetzt, aufgelagert auf eine vorzugsweise aus Bindegewebe und elastischen Fasern bestehende Membran, welche reichlich mit Blut- und Lymphgefässen und Nerven durchzogen ist. In die Schleimhaut finden wir verschiedenartig gestaltete Drüsen eingebettet, welche vielfach als in die Tiefe gehende Einbuchtungen des Epithels anzusehen sind. Sie sind vorzugsweise als Flächenvermehrungen des Epithels zu betrachten; derselben Aufgabe entsprechen die auf die Schleimhaut aufgesetzten zotten- oder fadenförmigen Anhänge: die Papillen oder Zotten, die sich in verschiedenen Formen in reicher Anzahl finden. Auch grössere Drüsen senden ihre Sekrete in von der Schleimhaut ausgekleidete Höhlungen.

In der Mundhöhle liegt die Schleimhaut dem Knochen und den Muskeln straff auf. Im Schlunde, dem Anfang des Darmes, beginnt eine mehr regelmässige Muskellage, Muskelhaut, sich unter die Schleimhaut zu lagern; zu Anfang aus quergestreiften, dem Willenseinfluss dienenden Fasern, noch in getrennte Muskel-Individuen zerfallend; am Ende des Darmes treten in dem Afterschliessmuskel ebenfalls willkürliche Fasern auf. In der ganzen übrigen

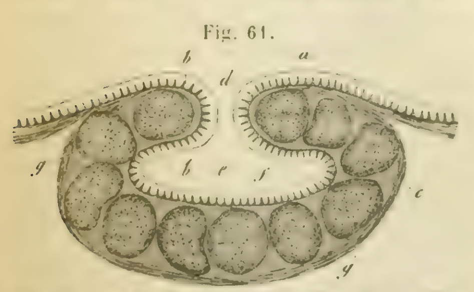
Strecke setzt sich die Muskelhaut des Darmes aus glatten Elementen zusammen. Letztere ordnen sich meist zu zwei, am Magen zu drei Lagen, in der einen verlaufen die Muskelzellen in der Längs-, in der andern in der Querrichtung; am Magen kommen noch schiefe Faserzüge dazu. Zwischen Schleimhaut und Muskelhaut findet sich eine Lage von lockerem Bindegewebe: Unterschleimhautgewebe — Submucosa —. Jene Theile des Darmes, welche in der Bauch- und Beckenhöhle liegen, sind durch eine zarte, nerven- und gefässarme, an der freien Oberfläche mit einem Epithel besetzte Haut: die seröse Hülle, bekleidet, welche auch den grössten Theil der übrigen Bauch- und Beckenorgane überzieht.

Anatomie der Mundhöhlenschleimhaut und ihrer Drüsen.

Die Mundhöhlenschleimhaut ist eine directe Fortsetzung der äusseren Haut, von welcher sie sich an der Uebergangsstelle an den Lippen nur durch grössere Zartheit und durch ihre bei den weissen Rassen rothe, von ihrem Gefässreichthum herrührende Farbe unterscheidet. Sie ist mit einer grossen Anzahl gedrängt neben einander stehender Papillen besetzt. Zwischen diesen finden sich zahlreiche Drüseneingänge, von denen einige auf grösseren papillenartigen Erhebungen zu Tage treten.

In den Papillen steigen Kapillarzweige empor, um hier ein zierliches Geflecht zu bilden; ein reiches Netz von Lymphgefässen durchsetzt die ganze Schleimhaut. Mit ihnen stehen die zahlreichen Balgdrüsen in Verbindung, von denen Brücke dargethan hat, dass sie wie die solitären Follikel und Peyerschen Drüsen als einfachste Lymphdrüsen zu betrachten sind. An der Zungenwurzel bilden sie eine beinahe zusammenhängende Schicht, die so oberflächlich liegt, dass sich die einzelnen Drüsen schon mit blossem Auge als rundliche, hügelige Erhebungen erkennen lassen. Sie sind linsenförmig gestaltet, von 1—4 mm Durchmesser. Das freie Auge erkennt eine Oeffnung, die in eine trichterförmige Höhle führt, in welche sich die Schleimhaut mit den Papillen und dem Epithel fortsetzt. Eine tiefer gelegene Schleimdrüse sendet ihren Ausführungsgang in diese kleine Höhle und erfüllt sie mit einer graulichen Schleimmasse (Fig. 61). Jede Balgdrüse ist von einer dickwandigen Kapsel umgeben, in welcher eingebettet in zartes, gefässreiches Bindegewebe die Drüsenbälge oder Follikel liegen, 0,2—0,5 mm gross. Im Baue stimmen diese mit den oben erwähnten geschlossenen Darmdrüsen ziemlich überein, ebenso mit den Bläschen der Milz. Für die genannten Gebilde gilt dieselbe Beschreibung. Sie zeigen eine faserige, ziemlich feste Hülle und einen Inhalt, der theils aus einer alkalischen Flüssigkeit, theils aus geformten Theilen: rundlichen Zellen, Lymphkörperchen besteht. Dieser

Fig. 61.



Balgdrüse von der Zungenwurzel des Menschen. *a* Epithel, das dieselbe auskleidet, *b* Papillen, *c* äussere Fläche der Balgdrüse mit der Bindegewebshülle, *e* Höhlung des Balges, *f* Epithel desselben, *g* Follikel in der dicken Wand des Balges. — Vergrösserung 30.

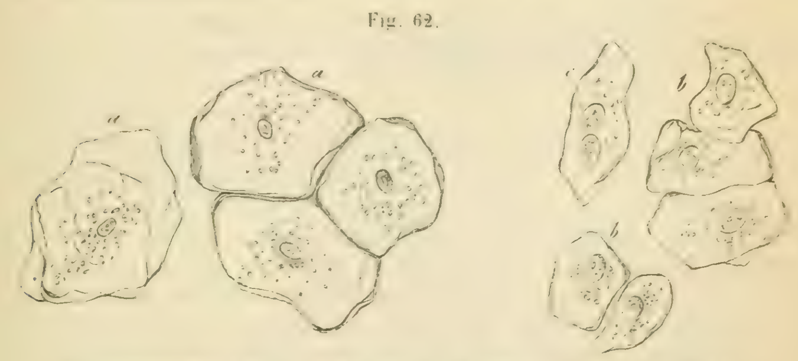
Inhalt liegt in dem Follikel in einem feinen Balkennetze von Bindegewebskörperchen, welches mit der Hülle zusammenhängt und das ganze Innere durchzieht. Die Gefässe der Balgdrüsen sind sehr zahlreich und senden Aestchen in das Innere der Follikel ab, nachdem sie ein schönes Netz um dieselben gesponnen. E. H. WEBER hat zuerst Lymphgefässe von den Drüsen herkommen sehen.

Die Mandeln oder Tonsillen sind Haufen von 10—20 Balgdrüsen, fest mit einander verbunden und mit einer gemeinsamen Hülle umgeben.

Im rothen Theile der Lippen findet sich das von KÖLLIKER entdeckte, reiche Lager von Talgdrüsen.

Das Epithel der Mundhöhle besteht aus übereinander geschichteten rundlichen oder vieleckigen Pflasterzellen. Die oberste Lage besteht aus rundlich-eckigen, grossen kernhaltigen Blättchen (Fig. 62). In den Zellen ist ein

Fig. 62.



Epithelialzellen der Mundhöhle des Menschen. a grosse, b mittlere, c dieselben mit zwei Kernen, 350 mal vergr.

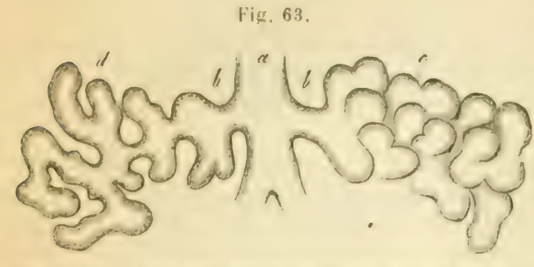
Kern nachzuweisen. Beständig werden im normalen Leben die obersten Epithelschichten abgestossen und wieder erneuert, so dass jeder Tropfen Mundflüssigkeit eine Anzahl dieser Zellen enthält.

Die Schleimhaut der Zunge besitzt eine grosse Anzahl von Hervorragungen, die Geschmackswärzchen, welche bei Betrachtung der Zunge als Organ des Geschmackssinnes ihre nähere Besprechung finden werden. Die Ränder der Zunge und der untere Theil derselben weichen auch in Beziehung auf das Epithel nicht von der übrigen Mundhöhle ab.

Direct unter der Schleimhaut des Mundes liegt eine grosse Menge kleiner traubenförmiger Drüschen, jedes mit einem kurzen, geraden Gang in die Mundhöhle sich öffnend. Sie liefern ein schleimiges Sekret: Schleimdrüsen der Mundhöhle. Sie finden sich an manchen Stellen zu grösseren Haufen vereinigt. Um die Mundspalte liegt ein reicher Drüsenring: die Lippendrüsen, Gl. labiales (cf. oben). An der Innenfläche der Backen die Gl. buccales, einige grössere Drüschen um die Ausmündungsstelle des STENON'schen Ganges der Parotis. Die analogen Drüschen des weichen und harten Gaumens tragen den Namen Gl. palatinae. An der Wurzel, dem Rande und der Spitze der Zunge liegen in reichlicher Menge die Glandulae linguales, die Zungendrüsen. Der mikroskopisch-anatomische Bau dieser Schleimdrüsen kann als

Schema für traubenförmige Drüsen gelten. Der grössere Stamm des Ausführungsganges, welcher auf der Schleimhautoberfläche mündet, spaltet sich in feinere und feinste Zweige, welche letztere an ihrem blinden Ende zu den sogenannten Drüsenbläschen oder Acini anschwellen. Diese Acini sitzen ziemlich unregelmässig den feinsten Ausführungsgängen auf, zeigen aber doch im Allgemeinen eine rundliche, oder rundlich-birnförmige Gestalt (Fig. 63). Die feinsten Gänge und die Bläschen besitzen eine gleichartige, structurlose Hülle, eine Membrana propria, besetzt mit einfacher Schicht eckiger Epithelzellen, welche in ihrem zähflüssigen Protoplasma, ausser vielen fettähnlichen, theilweise gelblich gefärbten Körnchen, durch Essigsäure gerinnenden Schleimstoff erkennen lassen. Die einzelnen Drüsenläppchen sind durch zartes blutgefässreiches Bindegewebe zusammengehalten. An den Ausführungsgängen finden sich in dem Bindegewebe elastische Fasern. Das Epithel der Ausführungsgänge ist von dem der Mundhöhle und der Drüsenbläschen verschieden, es besteht aus Cylinderzellen.

Fig. 63.



Schema zweier Gänge eines Schleimdrüsenläppchens. *a* Ausführungsgang des Läppchens, *b* Nebenast, *c* die Drüsenbläschen an einem solchen in situ, *d* dieselben auseinandergelegt und der Gang entfaltet.

Der gröbere und mikroskopische Bau der grossen, in die Mundhöhle ihr Sekret ergiessenden Speicheldrüsen, der Glandulae salivales: Parotis, Submaxillaris, Sublingualis und der Rivini'schen Drüsen stimmt im Allgemeinen mit dem eben beschriebenen der Schleimdrüsen überein. Der Hohlstamm des Ausführungsganges ist ihrer Grösse entsprechend weit und lang und sehr vielseitig verästelt. Er zeigt ebenfalls ein Cylinderepithel. Am Ductus Whartonianus der Submaxillaris finden sich glatte Muskelfasern unter dem Epithel und einer Doppellage von elastischen Häuten.

Die Blutgefässe der Speicheldrüsen umspinnen die Drüsenbläschen reichlich. F. Boll fand bei seinen Untersuchungen der Bindesubstanz der Drüsen, dass jeder Acinus (der Submaxillaris bei Kaninchen) von verästelten Zellen (retikulärem Bindegewebe) umgeben ist. Diese Zellen umspinnen den Acinus in einem reichen Netze, indem ihre vielfach verästelten Ausläufer zahlreiche Anastomosen eingehen und sehr zarte Fortsätze zwischen die einzelnen Epithelzellen des Alveolus entsenden.

Das Nervengewebe der Speicheldrüsen besteht aus Ganglienzellen und Fasern, letztere aus markhaltigen, welche die Hauptmasse darstellen, und blassen Nervenfasern (Pflüger). Wie Pflüger fand, theilen sich die ersteren Fasern in peripherischer Richtung sehr vielfach, so dass zwischen den Alveolen wahrhaft gefiederte markhaltige Nervenprimitivfasern liegen.

Das Verhalten der Nervenendigungen in den Speicheldrüsen ist durch Pflüger untersucht worden. Pflüger behauptet einen directen Zusammenhang der Nerven mit den eigentlichen Drüsenzellen, den Epithelzellen der Alveolen. Die Art der Verbindung zeigt sich nach seinen Untersuchungen verschieden, was mit der Verschiedenheit der Nervenbahnen,

durch welche die Speicheldrüsen innervirt werden, zusammenhängen mag. DONDERS hatte in den Drüsen des Pferdes eine deutliche Verzweigung von Nervenfasern gesehen, die KRAUSE bis zu den Alveolen verfolgte. Die Fasern treten nach PFLÜGER durch die Membrana propria hindurch, mit der ihre Hülle verschmilzt, verästeln sich, noch markhaltig, zwischen den Drüsenzellen, in deren Inneres sie eindringen, um dort mit einer knotenförmigen Anschwellung, dem Zellenkerne der Drüsenzelle, zu endigen. Ein Theil der in die Speicheldrüse eintretenden Nervenfasern senkt sich zuerst in kleine, mit vielen Ausläufern versehene Zellen ein: Nervenzellen KRAUSE, PFLÜGER, welche nicht zwischen den eigentlichen Drüsenzellen, sondern ausserhalb der Membrana propria liegen. Kurze Ausläufer dieser Zellen sah PFLÜGER in das Innere der Drüsenzellen eintreten. Vielleicht ist auch für die übrigen Speichelnerven ein derartiges ganglienzellenartiges Zwischengebilde vorhanden. Das, was PFLÜGER als solches beschreibt, stellt eine Anhäufung von Nervenzellenprotoplasma von geringer Individualisirung dar; dieses liegt, wie es scheint, innerhalb der Alveolen. Es ist wahrscheinlich PFLÜGER, dass die Ganglienendigung den sympathischen, die freie den cerebrospinalen Nervenbahnen in den Drüsen entspricht.

Nach den weiteren Angaben PFLÜGER's tragen die in die Cylinderzellen der Speichelrohren eindringenden Axencylinderfibrillen an ihren freien Enden kleine Kölbchen, welche an Grösse zunehmen, bis sie sich deutlich als Zellenkerne charakterisiren, von spärlichem Protoplasma umgeben. Diese Gebilde wachsen allmälig zu Speichelzellen einer neu entstehenden Alveole aus, die durch partielle Abschnürung aus der durch die Zellenwucherung stark verdickten Wand des Speichelrohrs hervorgeht. In den bereits ausgebildeten Alveolen endigen nach PFLÜGER auch markhaltige Fasern. Der Nerv soll da, wo er die Membrana propria durchsetzt, plötzlich sein Mark verlieren, mit der Speichelzelle in Verbindung treten, indem er in feinste Fibrillen sich auflöst, die mit dem Protoplasma (den Fibrillen desselben) in Verbindung treten. S. MAYER konnte die Existenz eines Kernfortsatzes in den Epithelien der Kaninchen-Submaxillaris bestätigen, der hier und da auch Verbindung zwischen den Kernen der Nachbarzellen herstellen kann. W. KRAUSE sah in der acinösen Backendrüse des Igels und dem Pankreas der Katze) noch andere Endigungen markhaltiger Nervenfasern innerhalb des eigentlichen Drüsenepithels. Sie sollten hier in »Endkapseln« und in kleinen »VATER'schen Körperchen« endigen.

Absonderung der Speicheldrüsen.

Zur Theorie der Drüsenabsonderung und Muskelreizung.

Die Absonderung der Drüsenzellen ist der Effect einer directen Nervenreizung wie die Contraction der Muskelfaser. Es ist mehr als wahrscheinlich, dass der primäre Erfolg der Nervenreizung in Muskelfaser und Drüsenzelle der gleiche ist: in beiden scheint er ein electrolytischer. Es werden unter der electrolytischen Einwirkung der Nerven primär aus den Zelleninhaltsstoffen sauer (und alkalisch) reagirende Zerlegungsprodukte frei. Erst die Wirkung dieser Zerlegungsprodukte, Reize auf die Zelle und in der Zelle, ist die Drüsenabsonderung oder die Muskelaktion. Die Zerlegungsprodukte des Muskelzelleninhaltes, die unter der Einwirkung der Nervenreizung frei werden, scheinen vor Allem Säuren: Milchsäure, Phosphorsäure; sie wirken theils für sich, theils in Verbindung mit Kali als Reize auf die contractile Substanz ein, gerade so, wie wir auch durch künstliches Zusammenbringen dieser Stoffe mit dem Muskel Contraction hervorrufen können. Aehnliche Zerlegungsproducte werden unter der Einwirkung der Nervenreizung auch in den Drüsenzellen frei gemacht, andere nach der anderen Zusammensetzung

der Zellen. In den Magendrüsen sehen wir wie im Muskel eine Säure — Salzsäure — auftreten. Es wäre nicht undenkbar, dass in anderen Zellen ein alkalischer Stoff schliesslich der Chemie der Zelle gemäss das Uebergewicht über die anderen Zelleninhaltsstoffe erhält, doch lehren die unten folgenden Beobachtungen, dass auch hier das Protoplasma bei seiner Thätigkeit eine *saure Reaktion* annimmt.

Unter der Einwirkung besonders von Säuren, aber auch von Alkalien werden die *Diffusionsverhältnisse der Zellen* auf das Wesentlichste geändert: sie lassen nun Stoffe durch-, herein- und heraustreten —, denen sie bei ungeschwächter Lebensenergie den Durchtritt entweder ganz verwehren oder doch nur sehr spärlich gestatten. Unter der Einwirkung der Säuren und Alkalien im Protoplasma kann also eine reichliche Drüsenabsonderung aus den Drüsenzellen beginnen, das Blutgefässsystem kann reichlicher Stoffe zur vorläufigen Verarbeitung in die Zelle abgeben, da deren Ansaugvermögen ebenso gesteigert ist, wie ihr Vermögen der Stoffabgabe. Dass hierbei die Anwesenheit von Stoffen mit hohem endosmotischem Aequivalent, z. B. Eiweissstoffe, in den Drüsenzellen von grosser Bedeutung ist (Pflüger), ist verständlich.

Dass aber in der Drüsensubstanz während des Reizzustandes Zersetzungen und Oxydationen statthaben und zwar im gesteigerten Maasse, beweist wohl die Beobachtung Ludwig's, dass die absondernde Drüse sich um 1.5° C. erwärmt im Vergleich gegen die ruhende. Die supponirte Wirkung der genannten Zerlegungsstoffe auf die Diffusion in den Muskelzellen ist als eine Nebenwirkung der Muskelreizung von mir mit aller Sicherheit nachgewiesen. Auch aus dem Muskelschlauche tritt nach der Nervenreizung in Folge der gleichen, hier nachweisbaren Veränderungen, wie wir sie in den Drüsenzellen annehmen, eine bestimmte Menge von Stoffen aus, dagegen füllt sich derselbe mit Flüssigkeiten aus dem umspülenden Blut und der Lymphe oder aus der umgebenden Parenchymflüssigkeit, so dass der Muskelschlauch dann eine gewisse Aehnlichkeit mit einer Drüsenzelle nicht verkennen lässt. Ganz analoges Verhalten habe ich für Nervenfasern, Rückenmark und Darmepithelzellen nachgewiesen (cf. S. 131). Bei dem Absterben bildet sich in den Speichel- und Thränendrüsen, wie im Muskel eine saure Reaktion aus (J. Ranke).

Wenn wir in der oben vorgetragenen Weise meine am Muskel gewonnenen Resultate auf die Drüse übertragen, so hält es nicht schwer, die eigenthümlichen, bisher fast unverständlichen Resultate Ludwig's zu verstehen, welche die durch Nervenreizung eintretende Steigerung der Drüsenabsonderung von der Nervenwirkung auf das Blutgefässsystem bis zu einem gewissen Grad unabhängig zeigten. Auch wenn der Blutzufluss ganz fehlt, nach Unterbindung der Arterien und an dem abgeschnittenen Kopfe ergibt die Reizung der Drüsennerven (Chorda) noch Steigerung der Absonderung der Speicheldrüsen (Submaxillaris). Wir haben es hier mit einer Ausscheidung in Folge chemischer Veränderungen des Protoplasma der Absonderungszellen zu thun, die mit selbständiger Energie verläuft. Bei lebhafter Sekretion fand Ludwig die *Temperatur des Speichels* um 1° höher, als die des zuströmenden Arterienblutes. Reichlicher zur Imbibition dargebotene Stoffe werden aus demselben Grunde reichlicher aufgenommen und ausgeschieden; Blutzufuhr steigert darum normal die Drüsenausscheidung. Den Gedanken aber, dass wir es bei der Speichelabsonderung vielleicht nur mit einer gesteigerten Filtration aus den Gefässen in die Drüse zu thun haben, widerlegt der von Ludwig geführte Beweis, dass der Druck in dem Lumen des Ausführungsganges der gereizten Drüse höher steigen kann, als der Blutdruck in den blutzuführenden Gefässen, so dass dem-

nach ein Filtrationsdruck von Seite der Drüsenzellen in das Blutgefässsystem, nicht aber umgekehrt existirt. Nach E. HERING u. A. ist die Ursache des hohen Absonderungsdruckes in der Glandula submaxillaris in der Bildung einer Colloidsubstanz, wahrscheinlich Mucin, während der physiologischen Thätigkeit der Drüse zu suchen, diese Substanz bewirke den hohen Druck durch ihr bedeutendes endosmotisches Aequivalent. Gewiss verbindet sich dieses Moment mit den von uns vorzugsweise betonten.

GIANNUZZI hat unter LUDWIG's Leitung von mir am Muskel gewonnene Resultate über die »ermüdende Wirkung« von Säuren und Alkalien auch auf die Speicheldrüsen übertragen. Es stellt sich für die beobachteten Fälle eine vollkommene Uebereinstimmung zwischen dem Drüsen- und Muskelgewebe in dieser Beziehung heraus. GIANNUZZI war im Stande, die Drüse durch Einspritzen von Säure (Salzsäure) und von kohlensaurem Natron zu ermüden, so dass keine Sekretion mehr stattfand, obwohl die Drüsennerven gereizt wurden. Der Ermüdung der Drüse ging bei seinen Versuchen ebenso ein Reizzustand, wie dieses am Muskel der Fall ist, voraus, so dass, wenn die Einspritzung nicht genügte, um die Sekretion bei nachfolgendem Nervenreiz nicht eintreten zu lassen, nun auch ohne weitere Reizung die Drüsenabsonderung begann. Es zeigen diese Versuche, wie vollkommen analog wir den Chemismus in Muskel und Drüse uns denken dürfen in Beziehung auf die besprochenen Verhältnisse. Es geht diese Analogie noch weiter aus der von GIANNUZZI beobachteten Thatsache hervor, dass die Drüse ebenso ermüdet, wie der Muskel, wenn ihr, auch bei sonst reichlicher Anwesenheit von flüssigem Material zur Speichelbildung, der arterielle Blutzufluss, d. h. der Sauerstoff, abgeschnitten wird (analog dem Versuche STENSON's am Muskel).

Zu den Untersuchungen über den Modus der Ausscheidung aus den Drüsenzellen, die früher zunächst nur an den einzelligen Drüsen angestellt waren, sind in der letzten Zeit die Beobachtungen von STRICKER und LANGER an den Zellen der menschlichen Milchdrüse hinzugekommen. Auch über den Sekretionsmodus der Speichelzellen haben wir, durch HEIDENHAIN und in neuester Zeit durch PFLÜGER und A. EWALD, erwünschte Aufschlüsse erhalten. HEIDENHAIN hat nachgewiesen, dass das mikroskopische Bild der gereizten und ruhenden Drüse wesentlich verschieden ist, worauf zuerst PFLÜGER gelegentlich der Präparationsmethoden aufmerksam gemacht hatte. Die Speichelzellen der ruhenden Drüse sind mit schleimig degenerirten Massen erfüllt, während die Zellen in den Alveolen der gereizten Drüse einen reinen Protoplasmainhalt zeigen, wie sie ihn auch in jedem Alveolus der ruhenden Drüse in einer halbmondförmigen Randzone zeigen (Halbmond GIANNUZZI's und HEIDENHAIN's). EWALD erklärt diesen Unterschied daraus, dass die »Schleimzellen« der ruhenden Drüse ihren Schleim bei der Reizung verlieren (auspressen) und sich in »Protoplasmazellen« umwandeln. Es geschieht das dadurch, dass das um den Kern zusammengeballte und mit ihm an den Rand der Zelle gedrückte Protoplasma der Schleimzellen, den Schleim verdrängend, sich mit dem Kern vom Rand aus nach der Zellenmitte ausbreitet. Central- und Randzellen, Schleim- und Protoplasmazellen sind nur verschiedene Zustände derselben Zellen. Die Zelle geht bei der Sekretion nicht zu Grunde, sondern presst ihren Inhalt aktiv aus. Dieses Auspressen wird wahrscheinlich wie bei dem Muskelprotoplasma eingeleitet durch eine vorläufige Anquellung des sauer gewordenen Protoplasmas, so können wir uns seine Ausbreitung erklären. Dass in der betreffenden Periode das Protoplasma sauer ist, geht aus der Beobachtung hervor, dass es sich dann mit Carmin färbt (EWALD u. A. cf. oben S. 93). Im sogenannten Sympathicus-Speichel finden sich die ausgepressten Schleimklümpchen vor, die offenbar aus den Speichelzellen stammen.

Reizung der Speicheldrüsennerven.

Die Verhältnisse des Blutlaufes in der ruhenden und der secernirenden, arbeitenden Drüse sind durch CL. BERNARD, LUDWIG u. v. A. untersucht worden.

Die reichlichen Blutgefässe stehen unter einem doppelten Nerveneinfluss. Wie bei allen Blutgefässen wird die Weite ihres Lumens von dem Reizzustande des Sympathicustheils, der seine Fasern zu ihnen sendet, bestimmt. Seine Reizung bewirkt Verengerung des Gefässlumens, seine Lähmung Erweiterung desselben. Ebenso ist es bei den Gefässen der Speicheldrüsen. Auf electrischen Reiz des Sympathicus verengern sich die Gefässe und es fliesst in Folge davon das Blut spärlicher durch sie hindurch und gelangt sehr dunkel in die Venen.

Die Reizung einer zweiten Nervengattung, die in die Drüse eintritt, wirkt in entgegengesetzter Weise: sie erweitert die Gefässe, das Blut strömt sehr rasch und reichlich, noch hellroth in die Venen ab, welche dann spritzen und sogar den Puls in sich wahrnehmen lassen, so dass das Blut rhythmisch beschleunigt wie aus einer Arterie aus ihren durchschnittenen Enden herausfliesst. Diese zweite Nervengattung verläuft im Facialis und Trigeminus. Durch den Nervus petrosus superficialis minor des Facialis, das Ganglion oticum und den Auriculotemporalis des Trigeminus kommen die Nerven zur Parotis. Der Sublingualis und Submaxillaris führt die Chorda tympani des Facialis, zuerst an den Lingualis Trigeminus sich anlegend, wodurch der Truncus tympanico-lingualis gebildet wird, von da wieder abtretend und theils in das Ganglion submaxillare sich einsenkend, theils direct zur Drüse verlaufend, den gefässerweiternden Fasern zu.

Ludwig hat gezeigt, dass die Reizung dieser Nerven, z. B. auf electrischem Wege, ausser der Gefässerweiterung auch eine Speichelabsonderung der zugehörigen Drüsen hervorruft. Dasselbe geschieht auf Reizung des Sympathicus.

Czermak entdeckte, dass bei Hunden die aus irgend einem Grunde stattfindende Speichelsekretion (z. B. durch Reizung des Lingualis erregt) aus der Submaxillaris durch electrische Reizung des Sympathicus verlangsamt, ja gänzlich zum Stillstand gebracht werden kann. Dasselbe wird im umgekehrten Sinne behauptet (Kühne), so dass beide Nerven gegen einander als »Hemmungsnerven« der Speichelabsonderung zu wirken scheinen.

Die Gefässlumensveränderungen und die Menge und Qualität der Drüsenabsonderung stehen in einer nicht zu verkennenden Wechselbeziehung. Der auf Reizung des Sympathicus abgesonderte Speichel, »der Sympathicus-Speichel«, ist zäh und dickflüssig, schleimig, reich an Mucin und spärlich; der Trigeminus-Speichel ist reichlich und ärmer an festen Bestandtheilen, was mit den Circulationsverhältnissen der Drüse während der Reizung zusammenpasst. Reichlichere Blutzufuhr liefert ein reichlicheres Material zur Absonderung, es muss aber zu dem Materiale stets auch noch die Veränderung in der Drüsenzelle durch Nervenreiz als bedingendes Moment hinzukommen, ohne welches keine Absonderung erfolgen kann (S. 261). Nach längerdauernder Reizung des Sympathicus wird die dadurch veranlasste Speichelabsonderung immer mehr der bei Trigeminusreizung ähnlich, der Speichel wird ärmer an festen Bestandtheilen, je mehr die Drüse an vorbereiteten Ausscheidungsstoffen verarmt (Heidenhain).

Im normalen Organismus erfolgt die Speichelabsonderung unter Nerveneinfluss reflectorisch vom Magen und von der Mundhöhle aus. Die Erregung

geschieht im Leben meist durch Geschmacksreize, welche die Mundhöhlenschleimhaut treffen, dasselbe bewirken an der gleichen Stelle alle Nervenreize: Kitzeln mit einer Federfahne, chemische Reize durch saure oder alkalische Stoffe, Alkohol, Aether, Pfeffer. Auch bei Kaubewegungen findet eine Speichelabsonderung statt, welche nicht sowohl durch Druck der Kaumuskeln auf die Parotis als durch eine bei willkürlicher Erregung der Kaunerven gleichzeitig mit stattfindende Erregung der Drüsennerven zu erfolgen scheint.

Die durch Säuren reflectorisch erregte Speichelabsonderung liefert dünnflüssigen Speichel: Alkalien und scharfe Gewürze einen zähen, dickflüssigen.

Giannuzzi hat zu den S. 263 schon angeführten Beweisen von der relativen Unabhängigkeit der Speichelabsonderung von der Bluteirculation in der Drüse noch den weiteren hinzugefügt, dass die künstlich »ermüdete« Drüse auf Nervenreiz nicht mehr secernirt, obwohl die Steigerung der Blutzufuhr durch die Reizung noch erfolgt. Die Drüse wird dann ödematös, es häuft sich in ihr seröse Flüssigkeit an.

Die Nerveneinflusse sind vor Allem für die Submaxillardrüse untersucht. Das reflectorisch zu erregende Centralorgan für ihre Thätigkeit liegt wahrscheinlich im Gehirn resp. im verlängerten Mark. Nach gewissen Verletzungen des Bodens des IV. Ventrikels sahen Eckhard, Nollner u. A. in Submaxillaris und Parotis die Speichelsecretion gesteigert. Die centripetal dem Gehirn zu verlaufenden Nerven, welche, reflectorisch erregt, die Sekretionsthätigkeit der Drüse veranlassen, verlaufen im Glossopharyngeus und wohl auch im Trigeminus und Vagus. Das Ganglion submaxillare soll nach Bernard ein Reflexorgan für die Drüsenreizung sein: es enthält Ganglienzellen, deren Erregungszustand eine Absonderung der Submaxillar-Drüse hervorrufe. Es wäre dieses der einzige Fall, in welchem Reflexorgane ausserhalb der nervösen Centralorgane, Rückenmark und Gehirn, nachgewiesen wurden. Die Fasern, welche das Ganglion submaxillare reflectorisch (Bernard) zu erregen vermögen, verlaufen zum Lingualis, gehen aber von da wieder zum Ganglion. Nach Durchschneidung des Trunc. tymp.-ling. sollen andere sensible Reize der Muskelschleimhaut als Geschmacksreize noch Sekretion hervorrufen können. Bernard's Beobachtung wird bestritten.

Speichelabsonderung tritt auch auf mechanische, thermische, electrische, rein chemische Reize ein, auch bei Brechneigung (vom Magen aus oder direct vom Gehirn?), bei Einführung von Speisen in eine Magenfistel (Frerichs). In normalem Verhalten sondern die Speicheldrüsen (der Hunde, Ludwig) nur unter Nerveneinfluss ab; ohne denselben steht die Sekretion still. Nach Eckhard u. A. soll dagegen beim Schaf die Parotisabsonderung eine continuirliche sein. Auch bei dem Menschen scheint sie nie ganz aufzuhören (Donders), wenn sie auch im nüchternen Zustand geringer ist, als bei und nach dem Essen. Colin sah auch die Parotis bei dem Rinde kontinuirlich absondern, 200—600 Gramm in der Viertelstunde. Längere Zeit nach der Durchschneidung des Trunc. tympanico-lingualis tritt mit beginnender Degeneration der Drüse eine kontinuirliche »paralytische Sekretion« ein, um mit fortschreitender Degeneration der Drüse wieder aufzuhören. Heidenhain sucht die Ursache der paralytischen Absonderung in der Stagnirung des Sekrets in der Drüse. Paralytische Sekretion tritt auch rasch auf nach Zerschneidung des Ganglion submaxillare mit Erhaltung der vom Trunc. tymp.-ling. durchtretenden Fasern (Bernard), oder bei Vergiftung mit Curare, wodurch die sympathischen Fasern gelähmt werden.

Manche krankhafte Reizungen der Mundschleimhaut rufen gesteigerte Speichelabsonderung (Speichelfluss) hervor, bei Kindern hat die beim ersten Zahnen eintretende Reizung der Mundschleimhaut den gleichen Erfolg (Geifern kleiner Kinder).

Bestandtheile des Speichels und seine Menge.

In dem gemischten Mundsafte, dem gemischten Sekrete aller in die Mundhöhle mündenden Drüsen finden sich neben den oben erwähnten abgestossenen Epithelzellen der Mundschleimhaut (Fig. 62) rundliche, kleine Zellen: Speichelkörperchen, Schleimkörperchen, die den weissen Blutkörperchen gleichen. Sie treten in besonders reichlicher Menge im Speichel, den man an der Zungenwurzel abgesogen hat, auf. Diese Zellen sind kugelig, gekörnt, kernhaltig. Die im Inhalte der Zelle befindlichen Körnchen zeigen Molekularbewegung. Wir nennen im gewöhnlichen Leben Speichel den gesammten Mundsaft, der allen grossen und kleinen in die Mundhöhle ihr Sekret ergiessenden Drüsen entstammt. Seine chemische Zusammensetzung wird selbstverständlich, da er keine homogene Flüssigkeit ist, schwanken je nach den Quantitäten der beigemischten Speichelarten, die von verschiedenen Drüsen und je nach den Reizzuständen Unterschiede erkennen lassen.

Der gemischte Speichel des erwachsenen Menschen ist normal eine schleimige, fast vollkommen wasserklare Flüssigkeit, nur durch die geringe Beimischung von Mundepithelien und Speichelkörperchen wolkig getrübt. Seine Reaction ist alkalisch, specifisches Gewicht 1002—1006. Der Gehalt an festen Stoffen schwankt zwischen 5—10 $^0/_0$. Die Hauptmasse der organischen Substanzen macht das Mucin aus, neben den genannten geformten Beimischungen und einer verschwindenden Spur von Eiweiss. Für die Verdauung erhält der gemischte Speichel seine Hauptbedeutung durch das in ihm (auch bei reifen neugebornen Kindern, ZWEIFEL u. A.) enthaltene, Stärkemehl verdauende Speichelferment: Ptyalin, Speicheldiastase, neben welchem J. MUNCK und KÜHNE auch Spuren von Pepsin, von Eiweiss verdauendem Ferment nachgewiesen haben. Ausserdem sind im Speichel noch aufgefunden: Harnstoff (PICHAD und RABUTEAU) und häufig Schwefelcyanverbindungen (TREVIRANUS). BRÜCKE gibt als normalen Bestandtheil des Speichels Ammoniak an, stets enthält er etwas salpetrige Säure (SCHOENBEIN). Unter den anorganischen Salzen des Speichels finden sich regelmässig Kalium, Natrium, Calcium in Verbindung mit Kohlensäure, Chlor und Phosphorsäure. Auffallend ist der Gehalt an kohlensaurem Kalk, der sich beim Stehen des Speichels in den schönen doppeltbrechenden Krystallen des Kalkspaths abscheidet und hier und da während des Lebens zur Bildung fester Ablagerungen in den Speichelgängen: Speichelsteine, Veranlassung gibt. Quantitativ wurde der gemischte Mundspeichel des Menschen vielfach seit BERZELIUS untersucht. Als Beispiel diene eine Analyse von JACUBOWITSCH:

Wasser	995,16	
fester Rückstand	4,84	
davon lösliche organische Substanzen	1,34	3,02 organische Stoffe
Epithelien	1,62	
Schwefelcyankalium	0,06	
Chlorkalium + Chlornatrium	0,84	1,82 anorganische Stoffe
andere anorganische Salze	0,98	

Die Hauptmenge des gemischten Speichels wird von den Submaxillar- und

Sublingual-Drüsen einerseits und der Parotis andererseits geliefert. Das Sekret der letzteren ist unter normalen Absonderungsbedingungen dünnflüssig, wässerig, das Sekret der ersteren aber zäh, fadenziehend, schleimig. Es deutet das (cf. oben) auf eine normale Reizung der Drüsen durch verschiedene Nervenbahnen hin.

Die reinen Absonderungen der verschiedenen Drüsen unter den verschiedenen physiologischen Bedingungen, z. B. Nervenreiz wurden vorwiegend an Thieren, theilweise auch am Menschen untersucht.

Der Speichel der Submaxillardrüse, welcher auf Reizung der Chorda abgesondert wird: der Trigeminus- oder Chorda-Speichel, reagirt stark alkalisch, nur manchmal die ersten Tropfen nach langer Drüsenruhe sauer, und besteht meist zu 99,6—99,2 % aus Wasser. Der feste Rückstand, die festen, nicht flüchtigen, im Speichel gelösten Stoffe betragen also nur zwischen 0,8—0,4 %. Der Gehalt an festen Stoffen steigt höher, wenn die Drüsenabsonderung in der Zeit eine unbedeutende ist. Die Concentration des Speichels ist im Allgemeinen von der Dauer der Absonderung abhängig, mit der sie langsam sinkt. Eine vollständige Analyse von Bidder und Schmidt vom Hundespeichel aus der Submaxillaris mag die Zusammensetzung veranschaulichen:

Wasser	991,45	
fester Rückstand	8,55	
davon organische Materie	2,89	
Chlorcalium } Chlornatrium }	4,50	} 5,66 anorganische Stoffe.
kohlensaurer Kalk } phosphorsaurer Kalk } – Magnesia }	1,16	

Ausserdem finden sich noch in der Asche: schwefelsaures Kali und kohlensaures Natron.

Pflüger hat die Speichelgase des Submaxillarspeichels eines Hundes bei Luftabschluss aufgefangen und untersucht, er fand (nach Fleischfütterung): Sauerstoff 0,6 %; Kohlensäure: auspumpbare 22,5 %, durch Phosphorsäure ausgetriebene 42,2 %, totale 64,7 %; Stickstoff 0,8 %.

Gewisse Substanzen, die abnormer Weise in das Blut gelangten, gehen aus diesem in den Speichel über: so Jod und Brom, dasselbe wird von dem Quecksilber behauptet.

Der Sympathicus-Speichel ist wie der Chorda-Speichel bisher nur vom Hunde untersucht worden. Er zeigt seiner Dickflüssigkeit entsprechend ein höheres specifisches Gewicht, auch seine festen Bestandtheile betragen mehr als die des Chordaspeichels. Er enthält eine ziemliche Menge von Gallertklümpchen, die einen Mucin- und Eiweissgehalt erkennen lassen. Der Mucingehalt kann hier leicht durch Essigsäure, mit welcher das Mucin herausfällt, nachgewiesen werden; er ist so bedeutend, dass er etwa $^1/_3$ des ganzen Speichelvolumens beträgt. Die Reaktion des Sympathicus-Speichels beim Hunde ist alkalisch, die anorganischen Salze sind qualitativ von denen des Chordaspeichels nicht verschieden.

Das Sekret der Submaxillardrüse des erwachsenen Men-

schen wirkt stark verdauend auf Stärkemehl; Zweifel fand dagegen sowohl das Sekret wie den Drüsenauszug von neugeborenen Kindern auf Amylum vollkommen wirkungslos.

Das Sekret der Sublingualdrüsen stimmt mit dem der Submaxillardrüsen sehr vollkommen überein.

Eckhard hat vom Menschen durch Einlegen einer Canüle in den Ausführungsgang Parotisspeichel erhalten, den man auch aus zufälligen Speichelfisteln gewinnen kann. Derselbe ist normal ohne Gehalt an Mucin, dagegen enthält er etwas durch Kochen fällbares Eiweiss und oft Spuren von Rhodankalium (Treviranus, v. Pettenkofer), das man durch Zusatz von Eisenchlorid, wodurch sich der Speichel roth färbt, durch Bildung von Eisenrhodanid, nachweisen kann. Man behauptete fälschlich, dass das Rhodankalium aus kariösen Processen der Zähne stamme. Leared leitet es aus dem Blute ab. Die Reaction des Parotisspeichels ist alkalisch, specifisches Gewicht 1006—1009. C. G. Mitscherlich fand beim erwachsenen Menschen seine Zusammensetzung:

Wasser	985,4	bis 983,7
fester Rückstand	14,6	– 16,3
davon organische Stoffe	9,0	
Rhodankalium	0,3	
KCl; NaCl; $CaCO_3$	5,0	

Die paralytische Speichelabsonderung liefert grosse Mengen eines wenig concentrirten Speichels.

Salkowski fand in dem bei Stomatitis reichlich abgesonderten Speichel auf 1 Natron etwa 7 Kali. Die im Tage auf diesem Wege abgegebene Kalimenge betrug 0,7 Gramm.

Bei der Submaxillardrüse ist die Frage, welche Veränderungen das Blut, während es durch die secernirende Drüse fliesst, erleidet, in Angriff genommen. Dass es bei Chordareizung hellroth, arteriell in die erweiterten Venen einströmt, haben wir schon erwähnt. Es entspricht dieser veränderten Farbe und vermehrten Geschwindigkeit der Blutbewegung durch die Drüse ein relativ höherer Gehalt des venösen Blutes an Sauerstoff, ein geringerer an Kohlensäure gegenüber derselben Blutart der ruhenden Drüse. Die Sympathicusreizung, welche den Blutstrom verlangsamt und spärlicher macht, lässt das Venenblut dagegen ärmer an Sauerstoff und reicher an Kohlensäure werden. Es ist klar, dass wir es hier zunächst mit Veränderungen, hervorgehend aus den Unterschieden der Geschwindigkeit der Blutbewegung, zu thun haben. Nach Pflüger wird durch längere Sekretion die Speicheldrüse leichter, weicher, absolut und relativ ärmer an festen Bestandtheilen und blässer von Aussehen. Durch längere Ruhe, d. h. Fasten, treten die umgekehrten Veränderungen ein, und die Farbe wird mehr gelb. Letzteres soll durch zahllose in den Speichelzellen sich anhäufende Molekularkörnchen bedingt sein. Die Drüse ist dann »geladen«.

Nach alledem können wir die verschiedene Wirkung des Sympathicus und Trigeminus auf die Absonderung der Speicheldrüse uns so erklären: durch beide Nervengattungen wird die Sekretion der Drüse, die aktive Ausscheidung des specifischen Sekretes, mit dem sie »geladen« ist, und das sich vielleicht während der Reizung zum Theil neu bildet, angeregt. Bei der Sympathicusreizung »presst« die Drüsenzelle ihren Inhalt aus, ebenso bei der Trigeminusreizung, das Produkt der Sekretion ist aber einmal arm an Transsudationsbeimischung (vor Allem Wasser, aus dem Blut und der Lymphe, das andere mal daran reich, je nachdem gleichzeitig der Drüse die Aufnahme von Flüssigkeiten durch die Circulation in grösserem oder geringerem Maasse ermöglicht ist. Ueber die Erklärung der Druckunterschiede in der Carotis und dem Speichelgang der secernirenden Drüse wurde schon oben (S. 262) gesprochen. Man darf dabei auch die Bemerkung von Donders nicht vergessen, dass der hohe Druck, den Ludwig gefunden, kein normaler ist, da nur ein geringer Seiten-

druck stattfinden kann, so lange der Abfluss des Speichels frei ist, und an der Ausflussöffnung wird der Druck stets = 0. PFLÜGER beschreibt in der Drüse auch glatte Muskelfasern, die sich am Ausscheidungsdruck betheiligen könnten.

Die Absonderung des Speichels der Parotis wird normal durch reflectorische Uebertragung des Reizzustandes der sensiblen Mundschleimhautnerven auf den Drüsennerven in der Drüse hervorgerufen. Der Einfluss psychischer Momente auf die Absonderung ist bei keiner Drüse so deutlich wie bei dieser. Nicht nur Vorhalten, sondern schon die Vorstellung namentlich saurer Speisen lässt ihn oft bei Hungernden in starkem Strahle aus dem Ausführungsgang hervorspritzen.

Nach Unterbindung aller Ausführungsgänge der grösseren Speicheldrüsen kann man das spärliche Sekret der Schleimdrüsen der Mundhöhle gesondert gewinnen. Dieser reine Mundschleim ist beim Hunde diastatisch unwirksam, enthält eine grosse Menge geformter Bestandtheile: Epithelzellen und Schleim- oder Speichelkörperchen, letztere stammen sonach nach KÖLLIKER vielleicht aus keiner der grösseren Drüsen her, nach DONDERS aus der Sublingualis. Nach PFLÜGER sind sie Produkt einer katarrhalischen Affektion der Schleimhaut der Gänge, nach Anderen wandernde Zellen aus dem Blute. Nach BIDDER und SCHMIDT enthält der Mundschleim neben Wasser 10% feste Bestandtheile, von denen mehr als 6% anorganischer Natur sind, davon treffen 5,3% auf Chloralkalien — Kali und Natron —, der Rest besteht aus phosphorsaurem Natron, Kalk und Magnesia.

Aus allen diesen Sekreten in wechselnder Menge ist der gemischte Mundspeichel zusammengemengt. Seine **Gesammtmenge** soll nach Umrechnung bei Thieren beobachteter Verhältnisse auf den Menschen zwischen 200—1500 Gramm in 24 Stunden schwanken. Aus einer zufällig entstandenen Fistel des Ductus Stenonianus (Parotis) erhielt MITSCHERLICH beim Menschen im Mittel 80 Gramm Speichel im Tage; für alle Speicheldrüsen zusammen würde das nach VALENTIN etwa 216 bis 316 Gramm geben. BIDDER und SCHMIDT halten die Mengen unter Umständen für viel grösser: 1000—2000 Gramm im Tage. F. TUCZEK bestimmte die von einem erwachsenen Menschen täglich beim Essen secernirte und verschluckte Speichelmenge zu 500—700 Grm. Jedenfalls wird, mögen diese Berechnungen noch so ungenau sein, durch die Speicheldrüse dem Blute fort und fort eine sehr bedeutende Flüssigkeitsmenge entzogen, die aber durch das Verschlucken des Speichels wieder in den Blutkreislauf, d. h. in den »**intermediären Säftekreislauf**«, zurückgelangt.

Physiologische Wirkungen des Speichels.

Der grosse Wasserreichthum und die jedenfalls sehr bedeutende Menge des Speichels lösen die in den Mund aufgenommenen, in Wasser löslichen Stoffe. Seine alkalische Reaktion macht es auch, wie oben erwähnt, möglich, dass manche an sich in reinem Wasser unlösliche Substanzen sich in ihm verflüssigen.

Der Schleim, welchen der Speichel enthält, macht den Bissen schlüpfrig und damit zum Verschlucken geschickt, und ist zugleich der Grund, dass der Speichel sehr stark schäumt und viel Luft in sich einschliesst, die, mit in den Magen hinabgeschluckt, sich vielleicht an den Verdauungsprocessen daselbst betheiligt.

Die wesentlichste Aufgabe des Speichels für die Verdauung ist die, dass er einen jener einleitend genannten, an sich in Wasser unlöslichen Stoffe der Nahrung: das Stärkemehl verdaut, d. h. in den löslichen Zustand überführt.

Der frische **Speichel** hat die Fähigkeit, **Stärkemehl** in **Dextrin** und **Traubenzucker** zu verwandeln.

Hierbei entsteht zunächst ein durch Jod sich rothfärbendes Dextrin (Ery-

throdextrin), aus diesem eine mit Jod sich nicht färbende Dextrinmodification (Achroodextrin), dann Zucker.

Aus rohen Stärkekörnern löst der Speichel bei 35° C. die Stärkegranulose auf, während die Stärkecellulose ungelöst bleibt. Es ist daher die Speicheleinwirkung ein Mittel, um den mit Jod sich sofort bläuenden Antheil der Stärkekörner *Stärkegranulose* (NÄGELI's) von der *Stärkecellulose* zu trennen, welche erst bei einer Temperatur von 55° C. vom Speichel gelöst wird. Dagegen verwandelt er bei Bluttemperatur mit grosser Raschheit gekochte Stärke, Stärkekleister in Zucker, ebenso alle Stärke, welche, wie dieses bei der Zubereitung unserer aus Stärkemehl bestehenden oder Stärkemehl enthaltenden Speisen stets der Fall ist, einer höheren Temperatur ausgesetzt war.

Diese wichtige Fähigkeit wird dem Speichel durch einen nicht eiweissartigen Fermentkörper (COHNHEIM, v. WITTICH) ertheilt, durch das **Ptyalin**, den *Speichelstoff* (SCHWANN), die *Speicheldiastase*. Aus der Speicheldrüsensubstanz konnte v. WITTICH das zuckerbildende Ferment (mit Glycerin) ausziehen. Solche Fermente fand er aber auch *in geringerer Menge* in den meisten Organen: in der Magen- und gesammten Darmschleimhaut, Pankreas, Leber, Nieren, Gehirn, Blut und Blutserum, Galle. PASCHUTIN in der Schleimhaut der Trachea, Harnblase, Gallenblase und des Mastdarms.

Es ist wichtig, dass diese Einwirkung des Speichels oder vielmehr des *Ptyalins* auf Zucker auch dann noch stattfindet, wenn die Flüssigkeit schwach sauer ist. So kann sich die Wirkung des Speichels auch im Magen zunächst noch fortsetzen (cf. Magenverdauung).

Die Wirkung des Ptyalins wird als eine *Fermentwirkung* betrachtet, d. h. es soll dieser Stoff seine verdauenden Eigenschaften entfalten, ohne selbst dabei zersetzt zu werden, so dass eine verschwindend kleine Ptyalinmenge immer neue Quantitäten Zucker zu bilden vermag. Die Ptyalinwirkung verschwindet wie alle Fermentwirkung durch Kochen. Das Ptyalin und damit die Zuckerbildung kommt allen Speichelarten des erwachsenen Menschen zu.

Durch den *Nachweis sacharificirender Fermente in vielen Organen und Flüssigkeiten* verliert das Vorkommen des Ptyalins im Speichel einen Theil seines Charakteristischen. v. WITTICH meint sogar, dass das zuckerbildende Ferment dem allgemeinen Stoffwechsel entstamme und nur in einzelnen Drüsen vorwiegend aufgehäuft werde. Wir werden unten noch sehen, dass ein wesentlicher Theil der dem Speichel, z. B. im Magen, zugeschriebenen Wirkungen nach BRÜCKE's Entdeckungen auf Rechnung der *Milchsäuregährung* zu setzen ist. Nach PASCHUTIN soll das Ptyalin durch seine Wirkung an Wirksamkeit abnehmen, während die durch dasselbe gebildeten Umwandlungsprodukte seine Wirkung nicht stören sollen. Von der *Diastase*, einem im *keimenden Malz* enthaltenen, wie Ptyalin wirkenden Stoff, unterscheidet sich letzteres dadurch, dass es schon bei 60° zerstört wird, während Diastase bei 60°—70° seine stärkste Wirksamkeit entfaltet. Nach KÜHNE wirkt das Ptyalin am stärksten bei 35°. ZAWILSKI gibt an, dass *Dextrine* durch Speichel nicht in Zucker umgewandelt werden, *Glycogen* wird durch ihn nur langsam angegriffen (SEEGEN), ohne Wirkung ist der Speichel auf Rohrzucker, Salicin und Amygdalin. O. NASSE findet, dass sich unter Einwirkung des Ptyalins auch Amylum, wie aus *Glycogen* neben *Achroodextrin* (cf. S. 82) eine Zuckerart: *Ptyalose* bilde, deren Reduktionsvermögen gegen Kupferoxyd in alkalischer Lösung nur halb so gross sei, wie das des Traubenzuckers, und welche durch Kochen mit verdünnter Schwefelsäure zu Traubenzucker werde; hierbei wird

Ptyalose von Amylum und Glycogen unter sich und beide von Maltose, dem Produkt der Diastasewirkung, unterschieden.

Zur historischen Entwickelung der Verdauungslehre. — 1. Verdauung in der Mundhöhle. Vor Allem wurde die mechanische Seite der Speisezerkleinerung und Vorbereitung zum Schlucken schon im Alterthum aufgefasst. Die Lehrer der Athletik empfahlen es ihren Schülern, dass sie, wenn sie anders wollten, dass die genossene Speise ihnen Kraft gäbe, diese nicht blos mit den Zähnen zerreissen, sondern mit Musse zerkauen sollten. Die Ohrspeicheldrüse erhielt im Verlaufe der Zeit den Namen Parotis, der ursprünglich eine Erkrankung derselben bedeutete (Galen). Ueber den Speichel, den man mit den giftigen Sekreten der Schlangen verglich, herrschten die abenteuerlichsten Anschauungen. Nach Galen sollte der Speichel der einen Thierart für irgend eine andere specifisch giftig sein, auch wenn er es für andere nicht ist. So sei der Speichel des Menschen für die Viper ein Gift und umgekehrt. Der Speichel eines Nüchternen könne einen Skorpion tödten, während der Speichel der Viper weder für andere Vipern, noch der des Menschen für andere Menschen giftig sei. Man war zu analogen Behauptungen auch durch die Giftigkeit des Geifers wie anderer Körperflüssigkeiten wuthkranker Hunde hingeführt worden. Im zweiten Decennium unseres Jahrhunderts schreibt noch Magendie dem Speichel nur physikalische Wirkungen zu. Er bezeichnet als die Veränderungen, welche die Nahrungsmittel im Munde erleiden, drei: Veränderung der Temperatur, Vermischung mit den Flüssigkeiten, welche in den Mund ergossen werden, mehr oder weniger starker Druck und sehr oft Theilung, Zermalmung, welche den Zusammenhang ihrer Theile zerstört. Der Nutzen der »Bespeichelung« wurde darin gesucht, dass der grösste Theil der Speisen, welche der Einwirkung des Mundes unterworfen sind, sich in dem Speichel auflösen oder sich mit ihm ganz oder zum Theil vermischen, wodurch sie zum Verschlucken geeignet werden. Wegen seiner Klebrigkeit nimmt der Speichel Luft auf. Ob diese ganze Veränderung nur den Zweck hat, die Speisen zur Magenverdauung geschickter zu machen, oder ob sie im Munde einen Anfang der Assimilation erleiden? »Man weiss nichts Positives über diesen Gegenstand«, sagt Magendie mit dem wissenschaftlichen Stolze des Nichtwissens, der ihn zu einem der bedeutendsten, weil vorurtheilsfreisten Forscher in der Physiologie für alle Zeiten macht.

In Beziehung auf den Beginn der Assimilation oder wenigstens auf chemische Einwirkungen durch den Speichel auf die Nahrungsstoffe wollten Andere doch schon Beobachtungen gemacht haben. Man nahm nach den Versuchen von Pringle an, dass dem Speichel antiseptische Kräfte zukämen, dass durch ihn Fleisch längere Zeit vor Fäulniss geschützt werde. Nach Anderen sollte der Speichel ein die Gährung, vorzüglich die Weingährung, beförderndes Mittel sein, da man erfahren hatte, dass afrikanische und amerikanische Völker Wurzeln und Früchte, besonders Mais, aus denen sie berauschende Getränke bereiten, vorher kauen. Der Speichel sollte Substanzen (besonders Metalle) leicht oxydiren. J. B. Siebold schrieb 1797 eine Monographie über den Speichel zunächst des Menschen in physiologischer und pathologischer Beziehung. Nach seinen und Fourcroy's Untersuchungen und Zusammenstellungen wurde der Speichel schon ziemlich genau in seinem chemisch-physiologischen Verhalten bekannt. Hamberger und Siebold bestimmten sein specifisches Gewicht, seine Consistenz, seine Reaktion, die man bei Gesunden für neutral hielt; seinen Eiweiss- und Schleimgehalt; man wies Kochsalz, phosphorsaures Natron und phosphorsauren Kalk nach. Sein Wasserreichthum wurde zu $^4/_5$ seiner Menge angegeben.

1780 legte Hapel de la Chenaye die erste künstliche Speichelfistel bei einem Pferde an, aus der er in 24 Stunden 12 Unzen Speichel erhielt, den er chemisch untersuchte.

Spalanzani 1786 und Réaumur wollten gefunden haben, dass Speisen rascher verdaut wurden, wenn sie vorher mit Speichel, als wenn sie mit Wasser durchtränkt waren, welche Wirkung Tiedemann und Gmelin auf den Gehalt des Speichels an kohlensaurem, essigsaurem und salzsaurem Kali und Natron beziehen wollten.

Im zweiten Decennium unseres Jahrhunderts brachten die chemischen und physiologischen Untersuchungen von Berzelius über den Speichel noch genauere Aufschlüsse. Von

Berzelius wurde die Bezeichnung »Speichelstoff« zuerst gebraucht; er sollte ein eigener thierischer Stoff sein, der den Hauptbestandtheil der organischen festen Stoffe des Speichels ausmache. Physiologisch-chemische Wirkungen wurden diesem Salivin oder Ptyalin aber so wenig zugeschrieben, dass Berzelius im Gegentheil behauptete, dass der Speichel an und für sich aus den Nahrungsstoffen nicht mehr als reines Wasser ausziehe. J. Müller bestätigte diese Bemerkung für das Fleisch, das er vergleichend mit Wasser und Speichel behandelt hatte.

Im Jahre 1831 entdeckte Leuchs die Eigenschaft des Speichels, aus Stärkemehl Dextrin und Zucker zu bilden, was von Schwann sogleich bestätigt wurde. Man leitete nun diese Wirkung von einem der Diastase des Malzes analogen »Ferment« her, auf das man den Berzelius'schen Namen »Speichelstoff, Ptyalin« übertrug. Lassaigne und Magendie (1845) suchten die specifische Wirkung des Speichels anderen thierischen Stoffen gegenüber zu bestreiten, Bernard und Barreswil verlegten die specifische Wirkung in den Mundschleim, und der Erstere glaubte (1847) die Wirkung des Speichels darum als eine minimale betrachten zu müssen, da er sie allein in der alkalischen Reaktion des Speichels suchte (wie van Setten), so sollte sie im Magen sogleich sistirt werden durch die Einwirkung des sauren Magensaftes. Jakubowitsch beobachtete, was Donders bestätigt, dass dem gemischten Mundspeichel die zuckerbildende Eigenschaft in höherem Maasse zukäme als den einzelnen Speichelarten, dass aber der Mundschleim an dieser Wirkung keinen Antheil nehme. Derselbe mit Frerichs, Lehmann, Donders konnte erweisen, dass auch schwach angesäuerter Speichel noch seine zuckerbildende Wirkung fortsetze, für den Fortgang des Processes im Magen wurde dieser Beweis noch eigens geführt. Die übrigen wichtigeren, neueren Untersuchungen sind oben erwähnt. Bernard glaubte fälschlich, dass nur der zersetzte Speichel wirke. Während man früher das »Speichelferment« wie alle anderen Fermente für einen Eiweisskörper hielt, bezweifelt man das jetzt (Cohnheim). Hallier wollte den reichlichen mikroskopischen Pilzen der Mundflüssigkeit (cf. unten) die zuckerbildende Rolle zuschreiben, was von Bezold widerlegt wurde.

Zur Entwickelungsgeschichte der Drüsen der Mundhöhle. — Nach Kölliker werden die Schleimdrüsen der Lippen, Zunge, des Gaumens erst im vierten Monat des Embryonallebens angelegt. In ihren ersten Anfängen sind sie nichts anderes als einfache solide Sprossen der tieferen Epithelialschichten. Nach demselben Schema scheint die Bildung der Speicheldrüsen zu beginnen, die dann nach den Untersuchungen von E. H. Weber, J. Müller, R. Wagner u. A. in ganz analoger Weise verläuft, wie oben, S. 168, die Bildung der Milchdrüse nach Langer beschrieben wurde, und zwar bis ins Einzelnste. Sie werden in der zweiten Hälfte des zweiten Monats angelegt und schreiten in ihrer Entwickelung rasch fort, so dass sie im dritten Monat, abgesehen von der Grösse, schon ziemlich ausgebildet sind. Zuerst tritt die Submaxillaris auf, dann die Sublingualis, zuletzt die Parotis. Die Tonsillen erscheinen im vierten Monat als einfache Spalten, die sich im Grunde zu einem Säckchen mit kleinen Nebenhöhlen erweitern. In der Wand zeigen sich im Bindegewebe der Schleimhaut zunächst unabgegrenzte reichliche Zelleneinlagerungen. Die Abschnürung in Follikel ist durch Entwickelung stärkerer Bindegewebszüge um Zellengruppen zu Ende des Embryonallebens vollendet (Kölliker). Analog ist die Bildung der Schleimbälge der Zungenwurzel.

Man behauptete, dass den Neugeborenen in den ersten Lebenswochen noch die Speichelabsonderung fehle und damit die Fähigkeit, Stärke im Munde zu Zucker zu verdauen. Korowin fand, dass eine wenn auch sehr geringe Speichelmenge schon in den ersten Lebenstagen abgesondert werde (2cc pro hora), welche Zucker bildete. Er und Zweifel konnten auch aus der Parotis der Neugeborenen das sacharificirende Ferment darstellen, Zweifel vermisste dasselbe im Extract der Submaxillaris. Speichelmenge und Zuckerbildung steigen von der Geburt an. Nach Bidder und Schmidt fände jedoch während der ganzen Säuglingszeit keine eigentliche Speichelbildung statt. Man hat die geringere Speichelbildung bei der Ernährung der Kinder zu berücksichtigen, da sie dadurch zur Mehlverdau-

ung weniger fähig sind (S. 266), ihr Pankreas erlangt erst mit zunehmendem Alter (bis zum 1. Jahr) seine volle zuckerbildende Kraft (KOROWIN) (cf. unten).

Zur vergleichenden Anatomie und Physiologie. — Grössere Drüsen der Mundschleimhaut (GEGENBAUR) fehlen den Amphibien und Fischen, bei denen nur zerstreute kleinere Drüsen vorkommen. Bei den Reptilien finden sich grössere längs der Kieferränder gelagert (Lippendrüsen cf. unten). Bei den Schlangen bilden die Giftdrüsen ein mächtigeres Drüsenorgan. MITCHELL bezeichnet den »giftigen Stoff« in den Klapperschlangen als Crotalin, es soll durch Kochen und manche chemische Einflüsse seine Giftigkeit nicht verlieren. Bei den Schildkröten treffen wir unter der Zunge auf ein Drüsenpaar, das man als Speicheldrüsen anspricht. Bei Vögeln und Säugethieren finden sich konstant grössere Speicheldrüsen vor, die zur Bildung einer Mundhöhlenflüssigkeit beitragen und die man als Submaxillares, Sublinguales und Parotis bezeichnet. Letztere münden bei den Vögeln im Mundwinkel, ihre Sekretion ist meist unbedeutend, nur bei jenen Vögeln der Küste des indischen Archipels, welche die essbaren Vogelnester bauen: Collocalia fuciphaga und esculenta, ist während des Nestbaues die Absonderung einer zähschleimigen Flüssigkeit reichlich, welche der Hauptmasse nach aus Mucin besteht (HOPPE-SEYLER). Die bedeutendste Entwickelung und den bedeutendsten Umfang erreichen die Speicheldrüsen bei den auf vegetabilische Kost angewiesenen Thieren, bei denen auch die durch sie abgesonderte Flüssigkeitsmasse eine sehr viel bedeutendere ist als bei den Fleischfressern, bei denen die Drüsen weniger entwickelt sind. Bei den Pinnipediern sind sie noch geringer entwickelt, besonders die Parotis; sie fehlt bei Echidna; auch den Cetaceen fehlen Speicheldrüsen. Die Schleimdrüsen entwickeln sich bei manchen Säugethieren in einzelnen Gruppen sehr bedeutend. Bei manchen Carnivoren (Hund) findet sich noch eine in der Orbita gelagerte Glandula zygomatica, auf die man bei Versuchen über den Mundschleim Rücksicht zu nehmen hat. Bei den Carnivoren — dem Hunde — fehlt nach älteren Angaben das Zuckerbildungsvermögen dem Parotidenspeichel oft gänzlich; die anderen reinen und gemischten Sekrete besitzen es wenn überhaupt nur in geringem Grade. Auch Schwefelcyan fehlt dem Hundespeichel (HOPPE-SEYLER). Hier scheint vor Allem die mechanische Wirkung des Speichels zur Geltung zu kommen, die bei den Cetaceen durch das mit der festen Nahrung aufgenommene Wasser ersetzt wird. ASTASCHEWSKY machte die Beobachtung, dass der gemischte Mundspeichel der Herbivoren (Schaf, Ziege) nur sehr schwach »diastatisch« wirke. Er ordnet die von ihm auf das Zuckerbildungsvermögen ihres Mundspeichels untersuchten Thiere, indem er mit den am stärksten diastatisch wirkenden Speicheln beginnt, in folgende absteigende Reihe: Ratte, Kaninchen, Katze, Hund, Schaf, Ziege. Den Parotisspeichel der beiden letztgenannten fand er ganz wirkungslos auf Stärke, was den bisherigen Annahmen widerspricht. Auszüge der Speicheldrüsen gaben ihm aber ein positives Resultat, in Beziehung auf die Stärke der Zuckerbildung blieb die oben gegebene Reihe geltend. Die wässerigen Muskelauszüge fand er aber kaum weniger stark diastatisch wirksam wie die der Speicheldrüsen. Die Frösche besitzen keine eigentlichen Speicheldrüsen, einfache Krypten sondern ein schleimiges Sekret ab, welches nach LÉPINE durch Reizung der Zungennerven vermehrt werden kann und diastatische Wirkung zeigt. Hunde ertragen die Exstirpation aller Speicheldrüsen (FEHR u. A.).

Die Drüsen der Wirbellosen, die man als Speicheldrüsen anspricht, sind von besonderer Wichtigkeit für den allgemeinen Bau dieser Drüsengattung. LEYDIG theilt die hierher gehörenden Bildungen in drei Gruppen. Die erste umfasst die wirklich einzelligen Drüsen, wie sie bei Hirudineen sich finden. Hier scheint sich die Membran der Sekretionszelle unmittelbar zu dem oft sehr langen Ausführungsgang zu verlängern. Die zweite Gruppe umfasst die einzelligen Drüsen, deren Zellmembran aber geschlossen ist, sich also nicht in den Ausführungsgang fortsetzt; jede einzelne Sekretionszelle liegt für sich in einer eigenen Tunica propria mit Ausführungsgängchen, das in den gemeinsamen Ausführungsgang, der Flimmerepithel zeigt, mündet. Hier haben wir das einfachste Bild einer traubenförmigen Drüse. So bei Helix, Limax u. a. Eine eigenthümliche Modification dieses Drüsentypus bildet auch die obere Speicheldrüse der Biene. In der dritten Gruppe treten die mehrzelli-

gen Drüsen auf, bei denen eine grössere Anzahl von Sekretionszellen in einer gemeinsamen bindegewebigen Tunica propria liegt. Hierher gehören die unteren Speicheldrüsen der Biene, die Speicheldrüsen der Paludina vivipara, Littorina u. a., der Pteropoden, Heteropoden, Arthropoden. Eine Art Speicheldrüsen sind auch die Spinndrüsen (Serikterien) der Raupen, in deren kolossalen Zellen H. MECKEL die nur bei Insecten (Hautdrüsen und Epidermiszellen des Darms gewisser Raupen) sich findenden verzweigten Kerne auffand. Das Sekret der Spinndrüsen besteht aus einer wässerigen Flüssigkeit und einer elastischen zähen Substanz, die als Faden den Canal des Drüsenschlauchs gerade oder geschlängelt durchläuft (LEYDIG). — Bei den Wirbellosen kommt vielleicht in einigen Fällen schon eine vollkommene Verdauung in der Mund- und Rachenhöhle zu Stande, wofür LEYDIG z. B. die Larve von Corethra plumicornis anführt. Hier kommt das ganze, von der Larve erhaschte und in den Pharynx eingetriebene Thier nicht über diesen Abschnitt des Nahrungsrohres hinaus, in dem eine bestimmte fischreusenähnliche Vorrichtung allen festeren Theilen den Durchgang zum Schlund verwehrt. Es bleibt daher im Pharynx z. B. der verschluckte Wasserfloh so lange liegen, bis seine der Einverleibung fähigen Stoffe von ihm ausgezogen sind. Diese können in flüssiger Form die »Fischreuse« passiren und gehen durch den engen Schlund, und es darf hier wohl mit hoher Wahrscheinlichkeit angenommen werden, dass bei dieser Vorverdauung im Pharynx das Sekret der Speicheldrüsen, welches sich im Speichelbehälter angesammelt haben kann, eine mitwirkende Rolle spielt; das Chitinskelet des eingewürgten Thieres aber muss wieder durch die Mundöffnung auswandern, wobei eine theilweise oder vollständige Umstülpung des Pharynx erfolgt. Bei den Schlangen nimmt das Sekret der Drüsen der Mundhöhle (Giftdrüsen) eine giftige Beschaffenheit an; bei manchen Insecten, z. B. vielen Hemipteren, hat das Sekret eine reizende Wirkung auf die Wunde. Bei Insecten, bei welchen man obere und untere Speicheldrüsen unterscheidet, ist das Sekret derselben verschieden z. B. bei der Honigbiene (deren Speichel »diastatisch« wirkt nach ERLENMEYER und v. PLANTA-REICHENAU), scheiden die unteren Speicheldrüsen eine zähe, das Licht stark brechende Materie ab, die wahrscheinlich ein Kittstoff ist, um die aus den Leibesringen schwitzenden Wachsstückchen zu verbinden (LEYDIG). Bei den Ameisen scheint auch das Sekret der unteren Speicheldrüsen zum Auskitten ihres Baus zu dienen (H. MECKEL). In dem Speicheldrüsensekret von Dolium Galea Lam., einer der grössten Schnecken Siciliens, welches eine farblose, wasserhelle, stark sauer reagirende Flüssigkeit darstellt, die in Berührung mit kohlensaurem Kalk heftig Kohlensäure entwickelt, fanden BÖDEKER und TROSCHEL 0,4 % freie Salzsäure und 2,46 % freies Schwefelsäurehydrat; ausserdem fanden sie noch 1 % schwefelsaure Salze, 1,6 % Magnesia, Kali, Natron, etwas Ammoniak, Kalk nebst organischer Substanz und 93,8 % Wasser. Die Schnecke vermag diesen Speichel mit grosser Gewalt auszuspritzen und scheint sich desselben auch als Waffe zu bedienen. Physiologisch steht er dem Magensaft näher als dem Speichel, doch ist Pepsin oder ein ähnlich wirkendes Ferment in ihm nicht nachgewiesen. PANCERI und DE LUCA, welche die Angaben für Dolium bestätigten, fanden auch bei anderen Schnecken: Tritonium, Cassis, Murex, Aplysia u. a. Sekrete mit freier Schwefelsäure.

Krankhafte Veränderungen des Speichels und Untersuchungsmethoden für den Arzt. — Wir haben schon erwähnt, dass gewisse in den Blutkreislauf gelangte Stoffe (Jod, Brom etc.) im Speichel abgeschieden werden, und zwar im Drüsenspeichel. Ob das bei Quecksilberspeichelfluss in der Flüssigkeit gefundene Quecksilber aus dem Speicheldrüsensekrete stammt oder ob dasselbe nur ein Bestandtheil der bei diesem Process massenhaft abgestossenen Mundepithelien ist, ist noch nicht entschieden. Das Letztere ist wahrscheinlicher (KÜHNE), da alle Gewebe Quecksilber in sich binden, so dass man es nach Quecksilberkuren in allen in grösserer oder geringerer Menge nachweisen kann (cf. Leber). Der Speichelfluss hängt bei Quecksilberkuren von dem gereizten Zustand der Mundschleimhaut ab. Auch ohne Quecksilber kann man bei Geisteskranken eine abnorme Steigerung der Speichelsekretion beobachten, die zum Theil auch aus Reizungszuständen der Mundschleimhaut, vielleicht (?) aber auch aus Reizung der centralen Nervencentren der Speichelsekretion sich erklären. Auch Jodkalium und andere Kalisalze bewirken Speichelfluss.

In den späteren Stadien fieberhafter Krankheiten ist die Absonderung des Speichels absolut vermindert, seine zuckerbildende Fähigkeit dagegen meist relativ gesteigert. C. G. Mitscherlich beobachtete an dem Speichel, der aus einer zufälligen Fistel des Ductus Stenonianus bei einem Menschen abfloss, fast immer saure Reaktion; dasselbe fand Mosler öfters an dem durch eingelegte Kanülen gewonnenen Parotidenspeichel eines Diabetikers. Im Typhus stagnirt der Speichel in der Parotis und nimmt saure Reaktion an. Offenbar handelt es sich hier um eine Erkrankung der Drüse, da Säuren nicht in den Speichel übergehen (Kühne). Bei Morbus Brightii und nach Unterbindung der Nieren fand man im Speichel, auch im reinen Drüsensekret Harnstoff. Gallensubstanzen und Zucker (?) gehen nicht in den Speichel über (cf. Sputum bei den Respirationsorganen). Von den Speichelsteinen war schon oben die Rede; sie kommen im Ductus Stenonianus und Whartonianus vor. Sie bestehen vorzüglich aus kohlensaurem Kalk mit wenig phosphorsaurem und einer organischen Materie: Albuminate mit Ptyalin. Dieselbe Zusammensetzung haben die »Zahnsteine« bei unreinlich gehaltenen Zähnen. Man erkennt das Ptyalin leicht daran, dass man den gepulverten Stein in verdünnter Essigsäure löst, dann die Flüssigkeiten mit Ammoniak fast vollkommen abstumpft und sie nun zu gekochter reiner Stärke (die man womöglich selbst aus zerriebenen Kartoffeln als Bodensatz gewonnen, gewaschen und an der Luft getrocknet hat) setzt. Sehr rasch tritt die Zuckerreaktion (cf. Harn) auf. Die Stärke des Handels ist meist schon etwas zuckerhaltig. Die Caries der Zähne soll von saurem Speichel oder Mundschleim erzeugt werden, die saure Reaktion durch Gährungen in der Mundhöhle. In der Mundhöhlenflüssigkeit, im Zahnbeleg, Zungenbeleg, finden sich normal ungemeine Mengen von Spaltpilzen: Leptothrix (Hallier), kleinste Zellen-Stäbchen und Zellchen. Sie kommen in allen stagnirenden und faulenden animalen Substanzen in grösster Menge vor, im Magen, im Darm, in den Exkrementen werden sie niemals vermisst. Sie sind jenen ganz ähnlich, die man vorzüglich bei Wundbrand, Diphtherie etc. findet. Ihre Bedeutung beruht im Speichel und Magen vielleicht in der Einleitung oder in der Mitbetheiligung an Milchsäuregährung (cf. Magenverdauung, Abbildung bei Harn). Saure Mundflüssigkeit (Milchsäure), wie sie bei Säuglingen durch Unreinlichkeit so rasch auftritt, unterstützt die Entwickelung des Soorpilzes im Munde. Ueber die saure Reaktion der Mundflüssigkeit gibt Lakmuspapier Aufschluss.

Siebentes Capitel.

Der Verdauungsvorgang im Magen.

Schlund und Speiseröhre.

Schlund und Speiseröhre.

Die Verdauung hat schon an einem der wichtigsten Nahrungsbestandtheile begonnen, wenn der Bissen aus der Mundhöhle dem Schlunde und durch die Speiseröhre dem Magen übergeben wird. Schlund und Speiseröhre lassen bei dem Menschen keine verdauende Einwirkung auf die rasch durchpassirende Nahrung erkennen. Die Contractionen der quergestreiften, meist noch von Knochen entspringenden Muskeln des Schlundes dienen dem Schluckakte.

Die Schleimhaut des unteren Theiles des Schlundkopfes besitzt Plattenepithel und, wenn auch sparsam und wenig entwickelt, Papillen. Der obere Abschnitt des Schlundes — der respiratorische — besitzt Flimmerepithel wie die übrige Schleimhaut der meisten Respirationsorgane und hat mit der Beförderung des Bissens Nichts zu schaffen. Der Schlund zeigt in seiner Schleimhaut traubenförmige kleine Schleimdrüsen und Balgdrüsen, die in ihrem Baue denen in den Mandeln entsprechen. An der Speiseröhre tritt der volle Darmcharakter mehr und mehr hervor. In ihrem oberen Abschnitt zeigt sich die Muskelhaut noch quergestreift und in einzelne Muskeln individualisirt. Je mehr sich die Speiseröhre dem Magen nähert, um so mehr mischen sich glatte Fasern ein, aus denen am Ende wohl die ganze Muskelhaut besteht. Die Schleimhaut der Speiseröhre zeigt wie die des Schlundes noch Papillen und ein ziemlich festes Pflasterepithelium, sowie traubenförmige Schleimdrüsen.

Zur vergleichenden Anatomie und Physiologie. — Der Schlund und die Speiseröhre sind sehr eng bei Thieren, die ihre Nahrung in sehr zerkleinertem Zustande geniessen, wie die Nagethiere und Krautfresser, während die eigentlichen Raubthiere eine weite Speiseröhre besitzen. Sehr weit sind sie auch bei Haifischen und Schlangen. Bei letzteren sind ihre Wandungen aber so dünn, dass man daran denkt, es könnten auch die Muskeln der äusseren Körperwandung, in soweit sie die Speiseröhre umgeben, durch Zusammenziehung den Schluckakt unterstützen. Bei Coluber scaber durchdringen mit Email bekleidete Fortsätze der Wirbel die Wand des Oesophagus zahnartig in einer Reihe. — Bei den Vögeln kommt häufig eine Erweiterung der Speiseröhre, der Kropf vor, der auch eine blindsackartige Erweiterung darstellen kann, in welcher die Schleimhaut charakteristische Modificationen des Drüsenapparates zeigt. Am meisten findet er sich bei fleisch- und körnerfressenden Vögeln. In dem Kropfe werden die Speisen aufgehäuft und besonders Körner quellen in ihm an und treiben Keime.

Durch den Keimungsprocess wird Stärkemehl in Zucker verwandelt, der Vorgang ist also physiologisch von gleichem Werth wie die Speichelverdauung; das Sekret der Divertikel selbst zeigt keine Fermentwirkung, es reagirt meist alkalisch, bei einigen Vögeln aber auch normal sauer (JOBERT). Bei den Tauben, Männchen wie Weibchen, sondert in der Brutezeit der Kropf aus einer eigenthümlichen Drüse, dem Ansehen nach den Windungen des Gehirns ähnlich, eine breiige, milchige Masse ab, die zur Ernährung der Jungen mit verwendet wird: Kropfmilch (J. HUNTER); die Sekretion beginnt 3—4 Tage vor dem Ausschlüpfen der Jungen und hält etwa ebenso lange nachher an. CL. BERNARD vergleicht sie mit der Milchabsonderung der Säugethiere, LECOMTE fand ihre Zusammensetzung: Casein und Salze 23.23 %, Fett 10.47 %, Wasser 66.30 %. Nach v. SWIECICKI bildet die Oesophagus-Schleimhaut bei Fröschen die Hauptmenge des Pepsins, weit mehr als die Magenschleimhaut selbst, aber keine Säure.

Der Magen, die Magenschleimhaut.

Man hat früher den Magen als das Centralorgan der Verdauung betrachtet.

Die Speisen verweilen im Magen eine längere Zeit, wobei ein Theil des in der Nahrung aufgenommenen Eiweisses in einen Zustand: Pepton übergeführt wird, in welchem es leichter zu einem Bestandtheile der Säfte des Organismus werden kann.

Wenn die Speisen den Magen verlassen, so sind sie zu einem Brei, Chymus verwandelt, welcher sich zwar chemisch noch nicht sehr bedeutend von der Zusammensetzung der genossenen Nahrungsmittel verschieden zeigt, in physikalischer Beziehung aber sehr veränderte Verhältnisse erkennen lässt.

Die verdauende Fähigkeit des Magens gipfelt, wie die der Mundhöhle, in einer specifischen Flüssigkeit, dem Magensaft, welcher in Folge von Reizungen reichlich auf die Oberfläche der Magenschleimhaut von den Magendrüsen ergossen wird.

Die Schleimhaut des Magens (KÖLLIKER) besteht fast lediglich aus den Magensaftdrüsen. Sie ist weich und locker; bei leerem Magen blauröthlich oder weisslich, während der Verdauung lebhaft roth gefärbt, da dann alle Blutgefässe wie bei allen absondernden Drüsen z. B. bei den Speicheldrüsen erweitert, stärker gefüllt und rascher durchströmt sind, auch die Venen enthalten dann ein heller rothes Blut. Kleine Längsfältchen, welche die Schleimhaut des nüchternen, leeren Magens erkennen lässt, verstreichen, wenn der Magen sich füllt. Im Pylorustheil und um die Labdrüsenmündungen finden sich kleine netzförmig verbundene Fältchen und freie Zöttchen. In der Nähe des Pylorus ist die Schleimhaut am dicksten, 1.7 — 2 mm, am dünnsten ist sie in der Nähe des Magenmundes, wo sie oft nur eine Dicke von 0.5 mm zeigt. Die Oberfläche des Magens ist mit einem Cylinderepithel bedeckt.

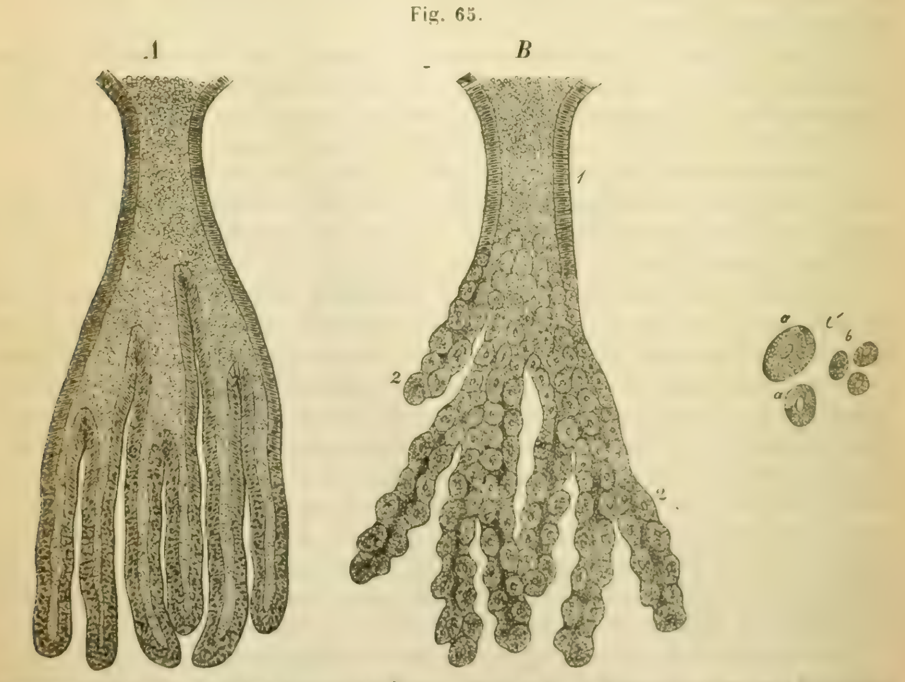
Es finden sich im Magen zweierlei Arten von Drüsen: Magensaft- oder Labdrüsen und die Magenschleimdrüsen. Für den chemischen Akt der Verdauung hielt man bisher nur die ersteren von Wichtigkeit. Die Magenschleimdrüsen finden sich am Pylorustheile des Magens, der während der Verdauung blass bleibt. Sie sind zusammengesetzt-schlauchförmig und besitzen Cylinderepithel bis in die cylindrisch geformten Endschläuche (Fig. 65 A). DONDERS sah am Pylorus echte traubenförmige Drüsen, welche auch sonst im Magen zerstreut vorkommen (FREY).

Das alkalische Sekret der Magenschleimdrüsen überzieht im

nüchternen Zustande die innere Magenoberfläche, besonders dick am Pylorustheile. Es betheiligen sich an der Schleimproduktion des Magens auch die Cylinderepithelien der Magenoberfläche. Ob sie ihr Sekret austreten lassen, oder ob sie bei der Sekretion ganz zerstört werden, ist nicht mit Bestimmtheit erkannt. Die letztere Annahme, gegen welche auch die neueren Beobachtungen an anderen secernirenden Zellen, z. B. in den Milch- und Speicheldrüsen sprechen, macht Schwierigkeiten, da die Cylinderepithellage nur eine einfache ist, wenn man nicht mit KÖLLIKER die Möglichkeit einer Quertheilung der Cylinderzellen annehmen will, worauf vielleicht ein hier und da vorkommender zweiter Kern in einer Zelle hindeutet. F. E. SCHULZE fand zwischen den unteren, verschmälerten Enden der Cylinderzellen kleine rundliche Zellen, von denen der Ersatz vielleicht ausgehen könnte, was durch ihre Bezeichnung »Ersatzzellen« angedeutet werden soll.

Die Magensaftdrüsen sind, wie die Magenschleimdrüsen, schlauchförmig gebaut, doch zeigen sie sich nur manchmal in reichlicher Weise verästelt, wie wir es bei letzteren als Regel erkennen, z. B. um die Cardia (Fig. 65 *B*).

Fig. 65.



Zusammengesetzte Drüsen aus dem menschlichen Magen. 100mal vergr. *A* Magenschleimdrüse vom Pylorustheil. *B* Magensaftdrüse von der Cardia. 1. Gemeinschaftliche Ausmündungshöhle (stomach cell TODD-BOWMAN). 2. Die einfachen Schläuche bei *A* mit Cylinderzellen, bei *B* mit Labzellen. *C* Einzelne Labzellen, 350mal vergr. *a* grössere: delomorphe Zellen; *b* kleinere: adelomorphe Zellen.

Eine dicht neben der anderen stehend, durchsetzen sie die ganze Schleimhautdicke bis zur Muskellage und sind je nach der Dickenausdehnung der Schleimhaut von verschiedener Länge.

Wenn der Schleim von der Magenoberfläche entfernt wird, so zeigen sich

an ihr kleine, runde, mit der Loupe erkennbare Grübchen, die mit Cylinderepithel tapezirt sind. In jedes solche Magengrübchen, das man als den gemeinsamen Drüsenausgang ansprechen kann, mündet eine Anzahl von Labdrüsen. HEIDENHAIN bezeichnet das Magengrübchen als Drüsenausgang, den oberen meist engeren Theil der Drüse als Drüsenhals, den übrigen Haupt-Abschnitt als Drüsenkörper.

Jede Magendrüse wird von der Umgebung durch eine Membrana propria abgetrennt, in welcher sich sternförmige Zellen zeigen (HENLE, BOLL), wie solche für die Membrana propria acinöser Drüsen charakteristisch sind (BOLL). In dem Schlauche der Membrana propria finden sich grosse, rundliche oder vieleckige, kernhaltige Zellen, meist mit kernigem Inhalte: die Labzellen, delomorphe Zellen (ROLLETT) oder Belagzellen (HEIDENHAIN). Ausser diesen grösseren, nicht kontinuirlich das Lumen des Drüsenkörpers auskleidenden Zellen besitzen die Labdrüsen noch eine grössere Anzahl kleinerer Zellen, die das eigentliche, an das Cylinderepithel der Drüsenmündungen sich anschliessende kontinuirliche Drüsenepithel darstellen sollen, adelomorphe Zellen (ROLLETT), Hauptzellen (HEIDENHAIN). Sie liegen auch über den Belagzellen im Drüsenkörper, so dass diese dann nicht direct das Lumen dieses Drüsenabschnittes berühren. Im Drüsenhals finden sich fast nur Labzellen, im Drüseneingang Cylinderzellen.

Die Drüsen stehen in der Magenschleimhaut so dicht neben einander, dass für Bindegewebe wenig Raum mehr übrig bleibt. Am entwickeltsten findet sich dieses an dem Grunde der Drüsen untermischt mit zahlreichen glatten Muskelfasern, die dort eine selbständige Lage bilden und sich kreuzend zwischen die Drüsen hereinziehen (BRÜCKE), bei deren Entleerung sie unzweifelhaft mitwirken.

Ausserdem steigen zwischen den Drüsen zahlreiche Gefässe auf, die, sich quer verbindend, ein zierliches Netz um die Schläuche herumspinnen. Die Arterien werden schon zu sehr zarten Stämmchen, ehe sie die Schleimhaut erreichen, zwischen den Drüsen spalten sie sich zu Kapillaren. Alle Drüsenmündungen sind mit Blutgefässringen umgeben, die sich unter einander vereinigend von oben gesehen als ein regelmässiges Maschennetz erscheinen. Die aus diesem Netze entspringenden Venen sind ziemlich weit, bilden unmittelbar unter der Schleimhautoberfläche ein dichtes Netzwerk (BRÜCKE) und durchlaufen dann ohne viele Verzweigung die Schleimhaut.

Unter den Magensaftdrüsen findet sich ein Netz von feinen Lymphgefässen, ein anderes liegt in der Submucosa, das man bei Thieren und Menschen, welche in der Verdauung starben, mit Lymphe gefüllt sehen kann. Aus ihm sammeln sich die grösseren Stämmchen, welche schliesslich die Muskelschicht in der Gegend der Curvaturen durchsetzen. Von Lymphdrüsen finden sich geschlossene Follikel, sogenannte linsenförmige Drüsen in unbestimmter, geringer Anzahl.

Nerveneinfluss auf die Magensekretion.

Es ist noch nicht gelungen, das Verhalten der Nerven in der Magenschleimhaut zu den Absonderungszellen zu erkennen. Die Nerven stammen von Vagus und

Sympathicus und führen in ihrem Verlaufe zahlreiche, kleine Ganglien (Remak, Meissner, Billroth). Fast ebenso wenig ist über die Wirkungen der sekretorischen Nerven ermittelt. Man kennt noch nicht mit voller Sicherheit die Bahnen, auf denen der Erregungszustand den Magendrüsen zugeleitet wird.

Wie alle Drüsen, so secerniren auch die Magendrüsen nur auf nachweisbare Reizung. Es scheint, dass die sensiblen, chemischen Reizungen der Magenschleimhaut, hervorgebracht normal durch verschluckte Stoffe, vor Allem durch Gewürze, oder experimentell durch mechanisches Berühren der blossliegenden Magenschleimhaut mit einer Federfahne oder einem Glasstabe, wie dieses bei Magenfisteln leicht ausführbar ist, auf sekretorische Fasern durch Reflexe in Ganglienzellen, vielleicht in der Magenschleimhaut selbst gelegen, übertragen werden. Verschluckter Speichel reicht schon hin, die Magensekretion anzuregen, und es liegt in dieser die Magenthätigkeit anregenden Eigenschaft eine der Aufgaben der Speichelsekretion. Die Sekretion des Magensaftes erscheint unabhängig davon, ob die zum Magen tretenden Nerven, z. B. der Vagus, durchschnitten sind oder nicht. Während der Sekretion ist die Blutdurchströmung durch den Magen gesteigert (S. 277).

Gewürze: Pfeffer, Zimmt, Ingwer, Kochsalz regen die normale Sekretion des Magens an. Buchheim gibt an, dass Bitterstoffe die Magenverdauung nicht befördern. Alkohol fällt das Pepsin, welches sich bei hinreichender Wasserzufuhr wieder löst.

Das Sekret des Magens und seine Wirkung.

Im nüchternen Magen findet sich eine schleimige, sehr schwach sauer, neutral oder selbst alkalisch reagirende Flüssigkeit. Dieser Magenschleim enthält ausser dem structurlosen Schleime eine Anzahl halbzerfallener Cylinderzellen aus dem Epithel des Magens und der Schleimdrüsen. Wenn die gesunde Magenschleimhaut irgendwie sensibel gereizt wird, tritt sogleich eine stark saure Reaktion der Magenflüssigkeit auf. Bei mechanischer Reizung einer vorher trockenen Schleimhautstelle, bei einer Fistel z. B., sieht man zuerst in kleinen Tröpfchen, die sich dann zu grösseren Tropfen vereinigen, den Magensaft aus den Drüsenöffnungen hervortreten als eine wasserklare, farblose, nicht schleimige Flüssigkeit mit intensiv saurer Reaction.

In neuerer Zeit ist die Veränderung der Magendrüsen durch ihre Sekretionsthätigkeit Gegenstand eingehender Untersuchung gewesen. F. E. Schulze fand in den Magenschleimdrüsen offene Cylinderzellen (»Becherzellen«). Man glaubt (W. Ebstein), dass bei der Sekretion der Drüsenzellen dieselben ihren schleimigen Inhalt abgeben. Im Hungerzustande ist das Protoplasma der Labzellen in den Magensaftdrüsen nur leicht granulirt (Heidenhain, Rollett), während die reichlichen kleineren Drüsenzellen des Drüsenkörpers (Hauptzellen) dunkelkörnig erscheinen. Bei verdauendem Magen erscheinen zuerst die Labdrüsen besonders bedeutend in dem Breitendurchmesser vergrössert. Die Hauptzellen erscheinen beträchtlich geschwellt und durch feinkörnige Masse getrübt. Diese Zellen färben sich nun mit Karmin, was sie im ruhenden Zustande der Drüse nicht thun, und was nach meinen Beobachtungen über die Ursache der Färbung mit Karmin auf einer chemischen

Veränderung des Zelleninhaltes und zwar auf dem Eintreten einer sauren Reaction beruht (cf. oben S. 93). Die Labzellen, welche sich auch in der ruhenden Drüse färben, sonach auch dort Säure enthalten und einen regen Stoffwechsel besitzen, sind in der arbeitenden Drüse ebenfalls stark vergrössert. Abgestossene Zellen oder Theilungen, welche auf eine Neuproduktion von Zellen zu deuten wären, wurden nicht beobachtet. In den späteren Verdauungsstunden schwellen Drüsen und Drüsenzellen wieder ab, die Hauptzellen verkleinern sich sehr, behalten aber zunächst noch ihre Tinktionsfähigkeit bei (Heidenhain). Rollet findet die angegebenen Differenzen nicht so deutlich ausgesprochen wie Heidenhain. Die Ausscheidung lässt also auch hier den oben bei den Speicheldrüsen schematisch dargestellten Vorgang bei der Drüsensekretion annehmen. Durch die Nervenwirkung, Reizung werden zunächst chemische Umgestaltungen (Säurebildung) im Protoplasma der Drüsenzelle erzeugt. Diese kann nun Flüssigkeiten in sich und den umspülenden Parenchymsäften aufnehmen, sie schwillt an, durch »Contraction« des Protoplasma wird die aufgenommene Flüssigkeit mit der »Ladung« der Drüsenzelle, d. h. mit dem specifischen Sekret derselben, ausgepresst (cf. S. 261). Offenbar sind kleine und grosse Zellen der Labdrüsen gemeinschaftlich für die Bildung des Sekrets beschäftigt, ob sie verschiedene Aufgaben haben, ist noch fraglich. Heidenhain glaubt annehmen zu dürfen, dass das Pepsin in den Hauptzellen entstehe, jedenfalls entsteht, wie unsere Darstellung ergibt, in den Labzellen Säure. Während die Pepsinbildung continuirlich stattfindet, tritt die Säurebildung nur in Folge von Reizung auf.

Reiner Magensaft kann aus Magenfisteln gewonnen werden. Einige Male schon sind solche bei Menschen von sonst vollkommener Gesundheit beobachtet worden, so dass man eine normale Functionirung der Magenschleimhaut voraussetzen konnte. Bei Thieren gelingt es bei genügender Sorgfalt ohne weitere Störungen der allgemeinen Körper- und Magenfunctionen Magenfisteln künstlich anzulegen und durch eingeheilte, beliebig verschliessbare Röhren offen zu erhalten. Durch mechanische Reizung der Schleimhaut während des Hungers kann man aus solchen Fisteln Magensaft gewinnen, der mit etwas Magenschleim und mit mehr oder weniger Speichel vermischt ist. Um letzteren abzuhalten, muss die Speiseröhre während der Magensaftgewinnung verschlossen oder es müssen die Ausführungsgänge aller Speicheldrüsen unterbunden werden, was selbstverständlich nur bei Thieren ausführbar ist. Der so gewonnene Magensaft zeigt bei allen Thieren und bei dem Menschen eine auffallende Uebereinstimmung. Stets ist er wenig concentrirt, so dass sein specifisches Gewicht von dem des Wassers sich kaum unterscheidet. Er hat einen charakteristischen »sauren« Geruch und Geschmack. Die Säure des Magensaftes röthet blaues Lakmuspapier nachhaltig, so dass sie also keine flüchtige sein kann. Die saure Beschaffenheit rührt von freier Salzsäure her, wie Prout und am sichersten C. Schmidt nachgewiesen haben. Doch ist die Menge der freien Säure normal nur gering, immerhin lässt sich aber zeigen, dass sie manche nur in Säuren lösliche Körper, z. B. kohlensauren Kalk, auflöst und aus ihm Kohlensäure entwickelt.

Die verschiedenen Experimentatoren schätzen die während 24 Stunden abgesonderte Menge von Magensaft für den Menschen sehr verschieden hoch. Hoppe-Seyler kommt, auf die Beobachtungen Beaumont's (cf. unten) gestützt, zu

135—180 Gramm; C. Schmidt berechnet aus seinen Bestimmungen ebenfalls an einer menschlichen Magenfistel (cf. unten), dass in 24 Stunden der Mensch 26,4% seines Körpergewichts = 4—4,5 Kilogramm liefere. Aus ihren Beobachtungen am Hunde berechnen Bidder und Schmidt sogar auf 1 Kilogramm Körpergewicht 100 Gramm Magensaft. Die letzteren Zahlen scheinen für normale Verhältnisse entschieden zu hoch zu sein.

Die Menge der im Magensafte enthaltenen freien Salzsäure ist sehr verschieden. Die Untersuchungen des menschlichen Magensaftes (Schmidt) ergaben in mit Speichel und Wasser etwas verdünntem Safte nur 0,02%; beim Hunde findet sich mehr: 0,3%, beim Schafe: 0,12%. Im reinen Safte scheint die saure Reaktion nur auf der Anwesenheit der Salzsäure zu beruhen. Während der Verdauung bilden sich aber durch Zersetzung der Speisen im Magen auch noch andere Säuren organischer Zusammensetzung: Milchsäure, Buttersäure, Essigsäure, die sich dann ebenfalls an der Hervorbringung der sauren Eigenschaft des Saftes und an dem Verdauungsvorgang (cf. unten Stärkeverdauung im Magen) betheiligen.

Ausser der genannten Säure enthält der Magensaft das Pepsin (Schwann), das Magenferment, auf dessen Vorhandensein die hauptsächliche Wirkungsfähigkeit des Magens beruht. Seine Einwirkung erstreckt sich auf die Eiweissstoffe und leimgebenden Gewebe, die im Magen in Pepton übergeführt werden. Pepsin und Salzsäure sind miteinander zu einer leicht trennbaren Verbindung vereinigt, ein Theil der letzteren ist vollkommen frei.

Die Intensität der Wirksamkeit des Magensaftes hängt von seinem Gehalt an Pepsin und freier Säure, sowie (bei künstlichen Verdauungsversuchen) von der Höhe der Temperatur ab. v. Wittich stellte fest, dass die Verdauung von Eiweissstoffen (Fibrin) um so schneller beginnt und um so rascher fortschreitet, je grösser der Gehalt an Pepsin ist. Durch die Untersuchungen Brücke's wissen wir, dass der für rasche Verdauungswirkung geeignetste Gehalt des Magensaftes an freier Säure zwischen 0,8—1,75 pro mille beträgt, bei Gehalten unter und über diesen Grenzwerthen sinkt die Wirkung. Die Wirkung ist unter sonst gleichen Bedingungen am stärksten bei einer Temperatur zwischen 35—50°.

(L. Laborde leugnet wieder auf Grund der chemischen Wirkungen des Magensaftes die Anwesenheit freier Salzsäure ganz).

Nach H. Braun wäre die Magensaftabsonderung eine continuirliche. Er vermisste die vielbeschriebenen Wirkungen sensibler Reize, sowohl mechanischer als chemischer, auch Speichel fand er unwirksam. Nach Grützner ist aber dieser Zustand der continuirlichen Magenabsonderung auf chronischen Magenkatarrh zu beziehen, wie er bei Magenfistelhunden leicht eintritt. Hammarsten constatirte, dass die Fähigkeit des Magensaftes (namentlich von Kalb und Schaf), Milch bei alkalischer Reaction zur Gerinnung zu bringen, nicht vom Pepsin, sondern von einem anderen Ferment (?) herrühre.

Pepsin und Peptone.

Man ist im Stande, das wirksame Princip des Magensaftes aus der Magenschleimhaut frisch geschlachteter Thiere (wie die Verdauungsfermente aus anderen Organen, z. B. Speicheldrüsen) nach Brücke's oder v. Wittich's Methode (cf. unten) darzustellen, so dass es seine Eiweiss verdauenden Wirkungen auch ausserhalb des lebenden Körpers entfaltet. Jede mit Salzsäure schwach angesäuerte Flüssigkeit, die eine geringe Menge Pepsin enthält: künstlicher Magensaft, zeigt die Fähigkeit der Peptonbildung: man prüft auf die Anwesenheit

des Pepsins dadurch, dass man eine Flocke reinen Blutfibrins in die Probeflüssigkeit bringt; bei einer Temperatur von etwa 35° C. wird sich dieselbe, wenn Pepsin vorhanden ist, nach einiger Zeit nach vorläufigem Aufquellen zu einer opalescirenden Flüssigkeit gelöst haben: Pepsinprobe Brücke's. Auf analoge Weise kann man auch die Menge des Pepsins in einer Flüssigkeit schätzen.

Man hat dem **Sekret der Magenschleimdrüsen**, dem »Magenschleim«, dessen relative Unwirksamkeit seit Wasmann, dem Entdecker desselben, von allen Experimentatoren bestätigt wurde, keine verdauenden Wirkungen zugeschrieben. Nach den Versuchen Heidenhain's mit Ebstein schien diese Annahme modificirt werden zu müssen. v. Wittich, Fick, Friedinger und Wolffhügel setzten aber die Magensaftdrüsen und Labzellen in ihr altes Recht wieder ein. Den Magenschleimdrüsen fehlt die verdauende Wirkung. (Ebstein und Grützner behaupten neuerdings, dass die mit verdünnter Salzsäure — nicht mit Glycerin — extrahirte Pylorus-Schleimhaut verdauende Wirkungen besitze, v. Wittich konnte diese Beobachtung bestätigen. Es muss hier aber daran erinnert werden, dass man in verschiedenen Körperflüssigkeiten Pepsin in geringer Menge findet, z. B. im Parenchymsaft der Muskeln, im Harne (Brücke), nach Baccelli in der Milzpulpa, sowie im venösen Milzblute. (Baccelli meint, dass das Pepsin des Magensaftes der Magenschleimhaut durch das venöse Milzblut zugeführt werde.)

Die Wirkung des Magensaftes auf die Eiweisskörper besteht darin, dass er aus den Eiweisskörpern die sogenannten Peptone bildet, welche sich in physikalischer Beziehung bedeutend, dagegen nicht wesentlich durch ihre elementare Zusammensetzung von den Eiweissstoffen unterscheiden, aus denen sie entstanden sind. Nach Thiry's Analysen ist die Zusammensetzung des Eiweisses und des daraus (durch anhaltendes Kochen) gebildeten Peptons identisch: Eiweiss: C 51,37, H 7,13, N 16,00, S 2,12, O 23,38; Pepton: C 51,37, H 7,25, N 16,18, S 2,12, O 23,11. Die sorgfältigen vergleichenden Versuche R. Maly's für Fibrin und Fibrinpepton hatten etwa das gleiche Resultat. Es ergab sich eine geringe Zunahme des O und Abnahme des C und N. Darnach hält es Maly für wahrscheinlich, dass das Pepton als Hydrat der Albuminate anzusprechen sei. Nach Hoppe-Seyler verhält sich das Pepton zu den übrigen Eiweisskörpern wie Hydrat zu den Anhydriten, das Pepton ist derjenige Eiweissstoff, welcher bei möglichster Hydration aus allen übrigen Eiweissstoffen gebildet wird, und entsteht darum durch alle jene Processe, durch welche man gewöhnlich eine solche Hydration erreicht: starke Säuren, Aetzalkalien, Fäulniss und verschiedene Fermente.

J. Möhlenfeld und Lubavin fanden neben den Peptonen bei künstlicher Verdauung (ohne Fäulniss?) von Fibrin: Leucin und einen Stoff, welcher die Tyrosinreaktion gab. Ihre zwei Fibrinpeptone unterscheiden sich aber auch in der Zusammensetzung wesentlich vom Fibrin. Er glaubt sie durch Wasseraufnahme und Abspaltung von Kohlensäure aus dem Fibrin entstanden. Ihre Peptone scheinen sonach im Gegensatz zu denen Thiry's und Maly's schon weitergehend veränderte Eiweisszersetzungsprodukte zu sein.

	Fibrin:		Fibrinpeptone:		
	(Dumas und Cahours)	(R. Maly)	(Möhlenfeld) I.	(Möhlenfeld) II.	(R. Maly)
C	52,7	52,51	47,71	44,96	51,40
H	7,0	6,98	8,37	7,83	6,97
N	15,7	17,34	15,40	17,85	17,13
O + S	24,6		S 0,89	S unbestimmt.	

Maly und Plosz haben durch Fütterungsversuche an Hunden und Tauben die Thatsache festgestellt, dass die Peptone im Körper in gewöhnliche Eiweissstoffe (Gewebsbildner) zurückverwandelt werden können.

Die Wirkung des Pepsins erfordert die Anwesenheit einer freien Säure, welche aus den Albuminaten die in Säuren lösliche Modification Parapepton oder Syntonin = Acidalbumin bildet. Der Säure gegenüber verhalten sich die verschiedenen Eiweissstoffe etwas verschieden, besonders in Beziehung auf die Zeit, welche sie zur Lösung erfordern. Blutfibrin

quillt in 0,4 % Salzsäure zuerst auf, um sich dann sehr langsam zu lösen, während die Eiweissstoffe des Muskels von derselben Säure sehr leicht aufgelöst werden. Die Eiweissstoffe sind dann zu Syntonin geworden, welches zwar in verdünnten Säuren, nicht aber in Wasser löslich ist. Neutralisirt man die Säure mit einem Alkali, so fällt der gelöste Eiweissstoff gallertig heraus. Unter der Einwirkung des Magensaftes entsteht zuerst aus allen Eiweissstoffen eine dem Syntonin in dieser Eigenschaft analoge Lösung. Auch die in Wasser gelöst aufgenommenen Eiweissstoffe, wie rohes Hühnereiweiss werden zuerst in diesen syntoninähnlichen Stoff übergeführt. Bei dem Caseïn der Milch tritt anfänglich im Magen durch eine, weder dem reinen Pepsin noch der Salzsäure allein zukommende Wirkung (S. 282) eine Gerinnung ein, die bei der Käsebereitung verwerthet wird, bei der mit einem Stückchen getrocknetem Magen (Labmagen) das Caseïn gefällt zu werden pflegt. Im Magen unterliegt erst das geronnene Caseïn der verdauenden Wirkung. *Kochsalz* soll die Pepsinabsonderung im Magen steigern (GRÜTZNER).

Man glaubte früher annehmen zu müssen, dass die Umwandlung der Eiweisskörper in Peptone im Magen nur unter der Einwirkung des Pepsins erfolgen könne. Neuerdings hat v. WITTICH gezeigt, dass schon unter der Einwirkung der Säure allein Albuminate (Fibrin) langsam in Peptone umgewandelt werden. Unterstützt wird diese Umwandlung durch Bluttemperatur. Die Wirkung des Pepsins besteht darin, dass es die Peptonbildung ungemein beschleunigt, so dass sie nur eben so viel Minuten wie ohne dasselbe Tage erfordert. Im Magen fehlt es also zur stärkeren Entfaltung dieser Säurewirkung an Zeit. Peptone und peptonartige Körper werden ausserdem gebildet: durch Kochen und Fäulniss (MEISSNER), nach v. GORUP-BESANEZ durch Ozon.

Der normale menschliche Magensaft zersetzt das *Oxyhämoglobin des Blutes* sehr rasch in *Hämatin* und Acidalbumin, welches in Pepton übergeht. Das Blut wird daher im Magen in eine schwarzbraune Masse verwandelt.

In dem Magensafte wird auch das *leimgebende Gewebe* gelöst, zunächst unter Bildung von Leim, der dann in Leimpepton übergeht, das eine nicht mehr gelatinirende Lösung bildet. Der Magensaft wandelt Knochen, Knorpel, Sehnen etc. zu Knochen- oder Knorpelleim um. Auch elastisches Gewebe löst sich, ebenso die Membranae propriae der Drüsen, die Descemetische Haut, die Kapsel der Krystallinse, das Sarkolemm der Muskeln, die Membranen der Fettzellen. Nicht angegriffen werden die Epidermisgebilde: Haare, Nägel etc., dann *amyloide Substanz* und *Nuclein*. Der Leim verliert dabei wie in jeder Säure endlich seine Fähigkeit zu gelatiniren.

Man hat die Menge von Eiweiss zu bestimmen versucht, welche durch eine bestimmte Menge von Pepsin gelöst werden könnte. Es zeigt sich, dass, nachdem eine gewisse Menge von Eiweissstoffen von der Verdauungsflüssigkeit gelöst wurde, die Lösungsfähigkeit verschwindet; neu zugesetzte Mengen werden nicht mehr verändert. Die Fähigkeit der Verdauung kehrt dem Gemische aber sogleich zurück, wenn man einen weiteren Zusatz von verdünnter Salzsäure macht. Wenn auch in dieser Mischung die Peptonbildung aufhört, so ruft sie ein neuer Zusatz von verdünnter Säure wieder hervor. Bei der Pepsinverdauung wird also Säure verbraucht, da sowohl das Acidalbumin, als das Pepton sich mit Säuren verbinden. HOPPE-SEYLER sieht *die Hauptwirkung des Pepsins* bei der Magenverdauung in nichts Anderem, als *in der Uebertragung von Säure an das Eiweissmolekul*. Das Pepsin wird also durch die Verdauung nicht zerstört, ebensowenig wie die Fermente bei ihren Wirkungen; man erklärt auch das *Pepsin* für ein *Ferment*. Die gesteigerte Concentration der Lösung an Peptonen hindert die Verdauung, ähnlich wie auch bei Gährungen durch das entstandene Gährungsprodukt (Alkohol, Milchsäure etc.) der Vorgang gehindert wird. Eine geringe Menge Pepsin ist im Stande, eine sehr grosse Menge Eiweissstoffe umzuwandeln. Dieselben Stoffe und Einwirkungen, welche die übrigen Fermentwirkungen hemmen oder zerstören, haben den gleichen Erfolg auch für das Pepsin. Concentrirte Säuren, Metallsalze, starker Alkohol, Kochen heben die Wirkungsfähigkeit des Pepsins auf, ebenso

Alkalien. Sind die zugesetzten Säuren jedoch nicht zu sehr concentrirt, so lasst sich die Pepsinwirkung durch theilweise Neutralisation wieder herstellen, ebenso bei Alkalien.

Hoppe-Seyler und Severy behaupten, dass manche Gährungen und Fäulniss durch Magensaft verhindert werden, wie das schon von den alten Physiologen gelehrt wurde.

Das Pepsin wird vorzüglich in dem Drüsengrunde gebildet. Die zu seiner Thätigkeit nothwendige Säure tritt erst an der Oberfläche des Magens auf. Im Drüsengrunde reagirt der Inhalt der Labdrüsen alkalisch; das Pepsin kann also dort nicht zur Wirksamkeit kommen.

Entstehung der freien Säure des Magensaftes.

Nach R. Maly ist die Entstehung der freien Säure im Magensaft auf einen Dissociationsvorgang zurückzuführen. Mulder hat nachgewiesen, dass im Seewasser unter der Einwirkung organischer Stoffe aus den Verbindungen der Erdalkalien mit Chlor, besonders aus Chlorcalcium und Chlormagnesium, freie Salzsäure entstehen kann. In dieser Hinsicht wird der Aschengehalt des Magensaftes wichtig. Wir finden in ihm in reichlicher Menge Chlorverbindungen der Alkalien und alkalischen Erden. Da vom Hunde ganz reiner Magensaft von C. Schmidt untersucht wurde, während der von Menschen gewonnene Saft nie speichelfrei sein kann, so mag folgende Analyse (Mittel aus 10 Analysen) als ein Beispiel der Stoffmischung des Magensekretes, speichelfreier Magensaft des Hundes gelten, neben welchen wir den viel wässerigeren speichelhaltigen Magensaft vom Menschen (von der esthnischen Bäuerin cf. unten) stellen, ebenfalls von C. Schmidt untersucht.

		Hund:	Mensch:
	Wasser	973,062	994,404
	fester Rückstand	26,938	5,596
davon	Pepsin und organische Stoffe	17,127	3,195
	freie Salzsäure	3,050	0,200
	Chlorkalium	1,125	0,500
	Chlornatrium	2,507	1,465
	Chlorcalcium	0,624	0,061
	Chlorammonium	0,468	—
	Phosphorsaurer Kalk	1,729	
	Phosphorsaure Magnesia	0,226	0,125
	Phosphorsaures Eisen	0,082	

Szabo hat auch im Mageninhalt vom Menschen bis zu 3 pro mille Salzsäure gefunden. Hoppe-Seyler berechnet aus der ersteren Analyse Schmidt's folgende wesentliche Zusammensetzung des reinen Magensaftes vom Hunde: Organische Substanz: 17,127. HCl: 2,259; CaCl 1,861; Ca,2(PO_4H_2): 1,305 pro mille.

Die chemischen Analysen des Magensaftes des Menschen geben, abgesehen von der Verdünnung und Speichelverunreinigung, ein ganz analoges Resultat. Nach Schmidt findet sich hier kein Chlorammonium. Andere chemische Erklärungen stammen von R. Maly. Er wies nach, dass reine Milchsäure auch im verdünnten Zustande Kochsalz zerlegt und Salzsäure bildet. Durch Diffusion scheidet sich nach Maly aus dem Salzgemisch der in den Labdrüsen enthaltenen Säfte Salzsäure ab. Die Verhältnisse sind analog der Abscheidung sauren Harns oder Schweisses aus dem alkalischen Blute (cf. d. betreff. Kap.). Maly fand, dass durch Einwirkung von saurem phosphorsaurem Natron auf Chlorcalcium Salzsäure frei wird, welche durch Diffusion aus dieser Mischung frei zu erhalten ist. Er constatirte weiter, dass durch Diffusion saure Salze in freie Säure und neutrale Salze zerlegt werden können. — Den chemischen Hypothesen stehen seit alter Zeit electrische gegenüber, Maly selbst hat erst neuerdings wieder auf die hier vorliegenden Möglichkeiten hingewiesen. Die Stoffe, aus welchen sich die Salzsäure im Magensaft abscheiden kann, sind vorwiegend nur Chlor-

natrium und Chlorkalium, es ist daher wahrscheinlich, dass neben der Abgabe von Salzsäure in das Sekret ein Uebertritt von Alkali ins Blut einhergehe. Man bringt mit dieser Ansicht in Verbindung, dass der während der Verdauung abgesonderte Harn hier und da eine alkalische Reaction zeigt (cf. bei Harn).

Ueber Selbstverdauung des Magens.

Man hat oftmals die Frage aufgeworfen, warum sich der Magen während des Lebens nicht selbst verdaue. Die Frage muss nach den neueren Erfahrungen anders gestellt werden.

So wie das Leben und mit ihm die Blutcirculation erloschen ist, sehen wir, wenn eine Absonderung von Magensaft noch vor dem Tode statthatte, den Magen in lebhafter Selbstverdauung begriffen. Es wird dann die ganze Dicke der Schleimhaut, ja alle Magenhäute sauer, der Magen wird brüchig und gibt ein Sectionsbild, das besonders bei Kindern, bei denen der Magen öfter noch als bei Erwachsenen in den letzten Lebensmomenten verdaut, zu Aufstellung der Krankheit der acuten Magenerweichung geführt hat.

Aber auch während des Lebens findet, soweit die Bedingungen dazu gegeben sind, eine fortwährende Selbstverdauung statt. Da nur die Magenoberfläche sauer reagirt, so kann im Drüsengrunde keine Selbstverdauung eintreten, das dort vorhandene Pepsin kommt nicht in Aktion. Hingegen wird das Epithel der Magenoberfläche in geringem Grade selbst gelöst. Nicht nur die zahlreichen Zellenrudimente im Magensafte, sondern auch die stets in ihm vorhandenen Peptone, welche nur aus Selbstverdauung hervorgegangen sein können, sprechen hierfür beweisend. Der Grund, warum die Selbstverdauung im Leben in so enge Grenzen eingeschlossen ist, liegt in der beständigen Neutralisation der zur Verdauung nöthigen Säure durch die alkalischen Gewebsflüssigkeiten, vor Allem durch das Blut. Sowie der Nachschub des letzteren aufhört, beginnt die Selbstverdauung in gesteigertem Maasse. Pavy hat einzelne Arterien des Magens unterbunden. An den Stellen, welche in Folge der Operation nicht mehr vor der Magensaftwirkung geschützt waren, trat acute Magenerweichung durchbrechende Magengeschwüre ein. — Die Oestruslarven im Magen der Pferde, eine Filaria, im Magen des Schafes lebend, werden durch ihre Chitinhülle vor der Anätzung des Magensaftes geschützt (Pavy).

Hülfsvorgänge der Magenverdauung. Chymus.

Bei der Verdauung im lebenden Magen kommen ausser denen, die bisher besprochen worden, noch einige unterstützende Momente in Betracht.

Vor Allem die beständige Bewegung, in welcher die in den Magen hinabgeschluckten Speisen durch die regelmässigen Contractionen der Magenwände erhalten werden, welche sie an immer neuen Schleimhautstellen vorüberführt und durch mechanische Reizung Gelegenheit zur reichlichen Absonderung des Saftes gibt, wirkt äusserst förderlich. Wir können bei künstlichen Verdauungsversuchen mit künstlichem Magensaft in Gläsern im Brutraume durch oftmaliges Schütteln der Verdauungsmischung die Lösung der Eiweisssubstanzen sehr befördern. In der Umgebung der Eiweissstückchen ist, so lange die Mischung ruhig steht, natürlich die Concentration der Flüssigkeit an schon entstandenem Pepton am grössten, der Verdauungsvorgang wird dadurch (wie wir oben gesehen haben S. 284) beeinträchtigt. Nach gleichmässiger Mischung geht dann die Einwirkung des Pepsins wieder rascher vor sich. Die Bewegung des Verdauungsgemisches im Glas und Magen hat darnach, wenigstens bis zu einem

gewissen Grade, einen analogen Effekt, wie die im Magen schon stattfindende Resorption der Peptone, welche eine störende Anhäufung derselben hindert.

Auch die Anwesenheit des mit der Nahrung verschluckten Speichels hat ihre weittragende Bedeutung.

Einestheils sehen wir seine Function in einer Anregung der Absonderung der Magenschleimhaut bestehen, anderentheils geht auch seine Einwirkung auf das Stärkemehl im Magen zunächst noch fort: es findet auch im Magen eine fortwährende Bildung von Zucker statt, die von dem Speichel zum Theil noch abhängig ist.

Es ist sicher, dass schwachsaurer Speichel noch Stärke in Zucker umwandelt, so dass im Menschenmagen die Zuckerbildung durch Speichel noch eine Zeit lang fortgehen kann, besonders da sich der schleimige Speichel nur langsam mit dem Magensafte mischt, aber zur Bildung grösserer Zuckermengen kommt es im Magen (nach Versuchen an Hunden) niemals. Dagegen bildet sich stets im Magen reichlich Dextrin (Erythrodextrin) und lösliche Stärke neben Milchsäure. Brücke lehrt, dass diese Umwandlung der Stärke in Dextrin und lösliche Stärke im Magen durch den im Magen namentlich bekanntlich bei Zuckergehalt des Mageninhaltes immer eintretenden Process der Milchsäuregährung geschehe. Dünner Stärkekleister geht bei Blutwärme auch ausserhalb des Organismus in Milchsäuregährung über, leichter wenn ihm etwas Milch oder Fleisch oder Pankreas etc. zugesetzt ist. Hierbei bildet sich neben Dextrin stets Zucker, aus dem dann erst die Milchsäure entsteht. Der gleiche Vorgang tritt im lebenden Magen ein. Es wird also, ganz abgesehen von der Wirkung des Speichels, durch die Milchsäuregährung im Magen das Amylum in Zucker, Milchsäure, Dextrin und lösliches Amylum umgewandelt, welche beide letzteren, in den Dünndarm gelangt, dort der rasch sacharificirenden Wirkung des Pankreassaftes leichter unterliegen können als noch nicht so weit umgewandelte Stärke. Daneben kommen im Darm die sacharificirenden Wirkungen des Darmsaftes (Busch) und der Galle (v. Wittich), wenn auch nur in untergeordnetem Maasse, ebenfalls noch zur Geltung, so dass im Dünndarm Dextrin meist nicht mehr oder nur noch in Spuren nachweisbar ist. Auch im Darm scheint die Milchsäuregährung stetig fortzugehen, im Dünndarm nur in ihrem Erfolg (saure Reaktion) verdeckt durch die alkalischen Darmsäfte. Das Wiederauftreten der Milchsäure im Dickdarm ist sonach wahrscheinlich nur als ein Wiedersichtbarwerden derselben wegen abnehmender Menge der neutralisirenden Darmsekrete zu deuten. Es verbindet sich also (nach Brücke) die Milchsäuregährung mit den Wirkungen aller Verdauungsorgane.

Im Magen wird Rohrzucker in Traubenzucker übergeführt; man vermuthet, (Hoppe-Seyler), dass hier vor Allem der Magenschleim wirksam wird.

Ausserdem werden lösliche, im Speichel noch nicht gelöste Stoffe, besonders Salze, im Magensaft in Lösung übergeführt. Die freie Säure vermag auch Salze zu lösen, welche, wie z. B. kohlensaure und phosphorsaure Erden, in Wasser allein nicht löslich sind.

Wenn die Speisen aus dem Munde in den Magen hinabkommen, so sind sie mehr oder weniger zerkleinert, gemischt, mit Speichel durchtränkt und die Ueberführung der genossenen Stärke in Dextrin und Zucker hat schon begonnen.

Die Reaktion der Masse ist durch den Speichel in den meisten Fällen schwach alkalisch.

Im Magen wird die Reaktion der Speisemasse in eine saure umgewandelt; der in so grossen Mengen abgesonderte Magensaft verdünnt die Mischung und bildet aus ihr den Speisebrei oder Chymus. Durch die Einwirkung des Saftes verflüssigen sich die Eiweissstoffe; das Bindegewebe, viele Hüllen der thierischen Zellen etc. lösen sich.

Der Chymus enthält von den aufgenommenen Eiweissstoffen einen Theil noch ganz unverändert; ein anderer grosser Theil ist in die in verdünnten Säuren lösliche Modifikation (Syntonin, Parapepton) übergeführt. Bei einem dritten Theile ist die Veränderung schon bis zur Bildung des eigentlichen Peptons fortgeschritten. Von ihm finden sich in dem Chymus stets nur sehr geringe Mengen vor, da es wohl schon im Magen grösstentheils resorbirt wird. Dasselbe gilt von dem Zucker, der sich aus der aufgenommenen Stärke bildete.

Die Untersuchungen von M. Schiff haben für die Wirkung des Stärkemehls in dem Chymus einen weiteren Gesichtspunkt eröffnet. Er gibt an, dass das aus dem Stärkemehl neben dem Zucker bei der Verdauung entstehende Dextrin sowie die Milchsäure für die Geschwindigkeit des Verlaufes der Magenverdauung von Bedeutung sei. Schiff behauptet, dass unter der Einwirkung des Dextrins im Magen oder Blute sich die Schleimhaut des Magens mit Pepsin »lade«. Die Versuche, auf welche Schiff seine Ansicht stützt, beweisen, wie es scheint, dass die Magenverdauung bei Anwesenheit des Dextrins energischer verläuft. Es scheint aber vor Allem die Säurebildung nicht die Pepsinbildung zu sein, welche durch das Dextrin befördert wird. Baccelli lässt die Ladung des Magens mit Pepsin von der Milz her durch das venöse Milzblut eintreten (S. 283).

Magengase.

Eine für den Verdauungsvorgang im Magen nicht unwichtige Rolle spielt im Chymus die mit dem Speichel in reicher Menge verschluckte Luft. Liebig hat zuerst darauf aufmerksam gemacht, dass sie nicht ohne Wirkung bleiben könne bei den im Magen vor sich gehenden chemischen Umsetzungen.

Chevreuil und Magendie fanden die Magengase eines gesunden Menschen (Hingerichteten) kurz nach dem Tode zusammengesetzt: O 11,00, CO_2 14,00, N 71,45, H 3,55.

Die Magengase von Hunden, welche Planer untersuchte, zeigen stets eine geringe Menge von Sauerstoff und einen sehr bedeutenden Gehalt an Kohlensäure und Stickstoff.

Bei einem Hunde, welcher 4 Tage mit Hülsenfrüchten gefüttert war, zeigten sich 5 Stunden nach dem Fressen die Magengase bestehend aus: 32,91 CO_2, 66,30 N, 0,79 O.

Die in den Magen verschluckte Luft hatte selbstverständlich die normale Zusammensetzung. Wir können aus der gefundenen Stickstoffmenge auf die Menge der verschluckten Luft rechnen, wenn wir annehmen, dass Stickstoff in dem thierischen Körper soviel wie gar nicht diffundirt, weil alle Gewebe ihre der Luftmischung entsprechende Stickstoffmenge schon aufgenommen haben. Die so berechnete Luftmenge ergibt, dass für je ein Volum verschwundenen Sauerstoffs 2 Volumina Kohlensäure in dem Magen des Hundes vorhanden sind.

Die Luft im Magen wird also in analoger Weise verändert wie in der Lunge. Der mit den feuchten, von Blut durchtränkten Membranen des Magens in Berührung kommende Sauerstoff wird von dem Blute absorbirt und an seine Statt tritt Kohlensäure aus dem Blute. Vielleicht wird auch durch die Säure des Magensaftes aus dem Blute Kohlensäure ausgetrieben, da die Kohlensäuremenge in den Magengasen eine so bedeutende ist. Bei dem Menschen ist diese Magenathmung gegen die Lungen- und Hautathmung nur ein sehr untergeordneter Vorgang. Bei Magenkrankheiten entwickelt sich Gas im Magen durch Gährung (Buttersäuregährung), der freie Wasserstoff in den Magengasen, sowie ein Theil der Kohlensäure entstammt dieser Quelle. Vielleicht gelangen auch gelegentlich Darmgase in den Magen.

In Fällen von Magenerkrankungen bilden sich brennbare Gase im Magen, sie enthalten reichlich Wasserstoff und in geringen Mengen Grubengas (A. Ewald). Auch die bei Tympanitis durch Einstich entleerten Gase sind brennbar (wasserstoffhaltig).

Hygieinische Betrachtungen. — Verdaulichkeit.

Magenfistelversuche am Menschen. — So lange man den Magen für das Centralorgan der Verdauung hielt, schien es leicht, durch Beobachtung an Magenfisteln über die »Verdaulichkeit« der einzelnen Nahrungsstoffe und ihrer Gemische zu entscheidenden Resultaten zu kommen. Man glaubte, es sei dazu nur nothwendig, zu sehen, wie lange in den Magen eingebrachte Stoffe in demselben verweilten, bis sie in den Darm abgeschieden wurden. Es sind derartige Beobachtungen von Beaumont in grosser Anzahl am Menschen gemacht worden. Er fand, dass der Magen seines mit einer Magenfistel behafteten canadischen Jägers nach dem Essen in 1 bis 6 Stunden geleert war. Seitdem wir wissen, dass im Magen nur ein Theil der verdauenden Wirkungen zur Geltung kommt, welche im ganzen Darmcanale die Speisen erfahren, dass ein grosser Theil der genossenen Speisen ganz unverändert aus dem Magen in den Darm übertritt, können wir von solchen ausschliesslich am Magen angestellten Versuchen keinen Aufschluss über die absolute Verdaulichkeit mehr erwarten, doch sind die Resultate immerhin interessant, da sie manche Verdauungsverhältnisse erklären und für den Arzt Gesichtspunkte für die Wahl der Nahrungsmittel abgeben können. Kaldaunen und Schweinsfüsse, gekocht, sah Beaumont schon nach 1 Stunde aus dem Magen seines Magenfistelmannes verschwunden, gebratenes Wildpret nach $1\frac{1}{2}$, Brod und Milch nach 2, wilde Gans, junges Schwein nach $2\frac{1}{2}$, Austern nach $2\frac{3}{4}$—$3\frac{1}{2}$, ebenso lange gebratenes Rindfleisch, gekochtes aber $3\frac{1}{2}$—$4\frac{1}{2}$, ebenso lange frisches, gebratenes Schweinefleisch; Lammfleisch bis $4\frac{1}{2}$ Stunden; geräuchertes Rindfleisch bedurfte im Maximum 5, geräuchertes Schweinefleisch 6 Stunden; Kalbfleisch bis $5\frac{1}{2}$, ebenso harte Eier. F. Kretschy machte an einer 25 jährigen, im Uebrigen gesunden Frauensperson, bei welcher in Folge von Caries der 7. linken Rippe eine Magenfistel vor 5 Monaten entstanden war, analoge Beobachtungen wie Beaumont. Da die Verdauung mit Säurebildung im Magen Hand in Hand geht, bestimmte er, wie lange nach Nahrungseinfuhr die Säurebildung anhält, wann sie ihr Maximum erreicht, wann sie beendet ist etc. Die Frühstücksverdauung dauerte $5\frac{1}{2}$ Stunden, das Säuremaximum war nach 4 Stunden erreicht; Mittagsverdauung 7 Stunden, Säuremaximum nach 6 Stunden; Nachtverdauung 7—8 Stunden. Alkohol und Kaffe verlangsamten die Verdauung; Pepsin (de Rostock), zu 0,6—0,8 kurz vor dem Mittagessen genommen, verkürzte die Verdauungszeit nicht. Brunnenwasser (»Hochquellenwasser«) regt nüchtern getrunken Säurebildung an, destillirtes Wasser nicht. Während der Menses reagirte der Magensaft stets sauer. Alkohol ging im Magen in Aldehyd über. Auch Ch. Richet experimentirte an einer Magenfistel des Menschen. Er fand die Acidität des Magensaftes im Minimum 0,5; im Mittel 1,7; im Maximum 3,2 p. M. Salzsäure entsprechend. Er sah eine Zunahme der Säure

gegen Ende der Verdauung. 0,1 der gesammten Säure des reinen Magensaftes sei Milchsäure, 0,9 Salzsäure.

Es ist ein vielfältig geltendes Vorurtheil, dass rohe Eier eine besonders verdauliche Speise seien. Kein fester Eiweisskörper widersteht jedoch der Einwirkung des Magensaftes bis zu seiner Ueberführung in Parapepton und Pepton so lange wie ungeronnenes Hühnereiweiss, so dass es geradezu als der schwerst verdauliche Eiweisskörper gelten muss. Der Umstand, dass das Casein in der Milch gelöst in den Magen gelangt, konnte auch zu der Meinung verleiten, dass wir hier eine besonders leicht verdauliche Eiweissmodifikation vor uns hätten. Es darf nicht vergessen werden, dass im Magen der Käsestoff der Milch zuerst gerinnt, ehe er unter Abscheidung eines phosphorhaltigen organischen, dem Nuclein ähnlichen Stoffes gelöst wird (Lubavin und Hoppe-Seyler). Für Manche ist die Milch ein schwer verdauliches Nahrungsmittel. Im Allgemeinen werden die Albuminate durch übermässiges Hartkochen weniger löslich (Donders). Vom Fleische scheint stets ein Rest ungelöst zu bleiben, und zwar auch leimgebende Substanz, die um so schwerer sich löst, je weniger sie durch die Zubereitung in Leim verwandelt ist. Auch Stärkemehl widersteht den verdauenden Wirkungen um so länger, je weniger die Hitze darauf eingewirkt hat, die Cellulose je älter sie ist. Alte Cellulose, Horngebilde, elastische Fasern widerstehen der Auflösung beharrlich. Die Cellulose der Gemüse: Möhren, Sellerie, Kohl wird dagegen vom Menschen z. Th. verdaut, nach Weiske's Versuchen zu 47—63%. Je feiner der Körper zertheilt (z. B. gekaut) ist, desto leichter wird er von den Verdauungssäften angegriffen, grössere Stücke können den Darm unverdaut passiren, z. B. Käse, Fleisch, Wurzelstückchen etc. In gut gegangenes, besonders altbackenes Brod saugen sich die Verdauungsflüssigkeiten (Speichel) rasch und reichlich ein, während frisches Brod sich leicht klumpig zusammenballt. Nach G. Meyer wird von Roggenbrod 10—11,5%, von Pumpernickel sogar 19,3% der trockenen Substanz nicht verdaut, während von Weizenbrod (Semmeln) nur 5,6% im Koth abgehen. Sehr ungünstig gestaltet sich die Ausnutzung der stickstoffhaltigen Bestandtheile, d. h. Eiweissstoffe des Brodes, vom Weissbrod bleiben 20, vom Roggenbrod bis 32, vom Pumpernickel 43% des Stickstoffs des Brodes unverdaut. Bei Erbsenkost sah Woroschiloff 10—17% des eingeführten Stickstoffes im Koth wiedererscheinen. Eine grössere Fettmenge hindert die Verdauung, da fetthaltige Gemische nicht so leicht von den Verdauungssäften durchtränkt werden. Stohmann fand, dass Zugabe von Stärkemehl oder Zucker eine Verminderung der Ausnutzung der Eiweissstoffe des Heu's bei Ziegen ergab. Analoge Untersuchungsresultate an Kühen erhielten Kühn und Fleischer. Unter diese Beobachtungen sind auch diejenigen zu rechnen, welche die höchste Ausnützbarkeit des Futters bei Thieren nur bei einer bestimmten Futtermischung ergaben (Henneberg, Stohmann u. A. cf. oben).

Die meisten Substanzen werden von den kindlichen Verdauungsorganen nicht so vollkommen gelöst wie von denen Erwachsener; hierher gehört besonders Stärke; dagegen vertragen Kinder Milch meist besser als Erwachsene. Ein Magen, der an schwerverdauliche Nahrung gewöhnt ist, kann oft leicht verdauliche weniger gut bewältigen, da diese ihm die Magenschleimhaut nicht genügend zur Magenabsonderung reizen.

Bei gewissen Magenerkrankungen scheint die Pepsinbildung abzunehmen, ebenso bei Ernährungsstörungen und Hunger, Blutungen, bei welchen alle Sekretbildung sehr bedeutend herabgedrückt wird. Da die Verdauungsfähigkeit des Magensaftes mit der Menge an Pepsin zunimmt, so ist, genügende Säurebildung im Magen vorausgesetzt, die therapeutische Darreichung von Pepsin in den angegebenen Fällen gerechtfertigt. Das »französische Pepsin« ist ein milchsäurehaltiges Gemisch von Peptonen, Pepsin und Stärke. Das französische Pepsin wird im Grossen durch Fällung künstlichen Magensaftes, des kalten Wasserauszugs der Labdrüsenschicht des Magens, mit basisch-essigsaurem Blei, Zerlegen des gewaschenen Niederschlags mit Schwefelwasserstoff und vorsichtigem Eindampfen des mit Milchsäure versetzten Filtrates vom Schwefelblei unter 40° C. bis zur Syrupkonsistenz bereitet. Das braune Extrakt wird mit Stärke zu einem weissen Pulver angerieben. Das Präparat ist sehr wirksam. Scheffer empfiehlt zur pharmaceutischen Bereitung des Pepsins: 6 Pfund Schweine-

magenschleimhaut, 4 Pfund Glycerin (nach von Wittich), 4 Pinten Wasser, 6 Unzen reine Salzsäure, 36 Stunden macerirt, Rückstand mit 3 Pinten Wasser 2—3 Stunden macerirt u. s. w. mit abnehmenden Wassermengen bis 10 Pinten Flüssigkeit gewonnen, die sich nach einigen Tagen klärt. 1 Unze löst in 4—6 Stunden 1,5 Drachmen frisch coagulirtes Eiweiss. Dittmar Finkler machte die, Bestätigung vorausgesetzt, sehr beachtenswerthe Bemerkung, dass käufliches Pepsin kein wahres Pepton, sondern nur Parapepton = Syntonin (wie eine Säure) liefere.

Häufiger ist eine vermehrte oder verminderte Säurebildung die Ursache von Verdauungsstörungen. Manassein fand bei fiebernden Hunden die Säurebildung gesteigert. Wird den Thieren in der Nahrung längere Zeit kein Kochsalz zugeführt, so hört die Salzsäurebildung im Magen ganz auf (Forster). In einer stark sauren Flüssigkeit kann das Pepsin nicht zur Wirksamkeit gelangen. So kann z. B. die künstliche Verdauung bei 10 % Salzsäure ausbleiben und beim Verdünnen der Säure erst beginnen, oder nach theilweiser Neutralisation durch Zusatz von Alkalien oder alkalischen Erden (z. B. gebrannter Magnesia). An einer überstarken Säurebildung im Magen betheiligen sich vor Allem die Milchsäure liefernden, zuckerähnlichen Stoffe, welche demnach bei vielen Verdauungsstörungen zu vermeiden sind. Manassein meint, dass bei fiebernden Thieren das Verhältniss der Magensäure zum Pepsin gestört sei.

Da die Anhäufung der Peptone in dem Magensafte die Wirksamkeit des Pepsins unterbricht, versteht man, warum so leicht nach grossen Mahlzeiten Verdauungsbeschwerden eintreten. Je mehr wir gleichzeitig auf einmal Fleisch geniessen, um so geringer wird procentisch die wirklich verdaute Menge. Während von reinem fettfreiem Fleische bei mehrmaliger Aufnahme sehr grosser Fleischmengen 95 % wirklich verdaut werden können, werden bei Aufnahme derselben in einer Mahlzeit nur 88 % aufgenommen, 12 % gehen unverändert als Koth ab (J. Ranke). Woroschiloff fand bei Fleischnahrung 3,6—10 % des eingeführten Stickstoffs im Kothe wieder.

Albertoni spritzte Hunden Pepsinlösungen ein (das Blut enthält normal Spuren von Pepsin: Kühne u. A.), und beobachtete danach eine Verzögerung der Blutgerinnung.

Zur Entwickelungsgeschichte der Magen- und Darmschleimhaut und ihrer Functionen. — Wie oben schon dargestellt (S. 27), liefert das embryonale Darmdrüsenblatt das Epithel, die Epithelzellen, aller Darmdrüsen. Die eigentliche Schleimhaut, die Muscularis und Serosa gehen aber aus der Darmfaserschicht hervor. Bei dem Magen zeigt sich das Epithel als eine getrennte Lage bis zum vierten Monat (Kölliker). In der siebenten bis achten Woche zeigen sich die ersten Anlagen der Magendrüsen als zahlreiche solide Epithelialfortsätze, die in der dreizehnten Woche von oben her hohl werden. Im Dünn- und Dickdarm (?) entstehen die Lieberkühn'schen Drüsen von Anfang an als hohle Ausstülpungen des Epithels. Die Brunner'schen Drüsen erscheinen im fünften Monat und entwickeln sich wie die Schleimdrüschen der Mundhöhle. Die Peyer'schen Drüsen erscheinen erst im sechsten Monat als Produktionen der Faserhaut. Sehr merkwürdig ist die Entwickelung der eigentlichen Schleimhaut aus der Faserhaut, die erst im fünften Monat beginnt. Kölliker sah aus der inneren Oberfläche der Faserhaut des Magens ungemein viel cylindrische Zöttchen hervorgewachsen, die nun zwischen die Drüsen hineinwuchern, von ihrer Basis her verschmelzen und so die Drüsen in ein vollkommenes Fächerwerk einschliessen, in welchem sich dann Blutgefässe entwickeln. Analoge Wucherungen der Faserhaut bilden auch die Schleimhaut und Zotten des Dünndarms, indem zu Herstellung der letzteren warzenförmige Auswüchse der Faserhaut in die Epithellage vortreiben. Bei der Schleimhautbildung des Dickdarms beginnt die zottige Wucherung der Faserhaut im vierten Monat, im siebenten Monat ist ihre Verschmelzung, von der Basis ausgehend, vollendet. — Die Magenschleimhaut fand Zweifel bei einem 6 monatlichen Fötus noch physiologisch unwirksam, während bei Neugeborenen der Magen schon seine verdauenden Wirkungen entfaltet, Pepsin und Salzsäure absondert, Casein zu Pepton löst. Frischer Hühnerdotter enthält ein peptisches Ferment (Krukenberg).

Zur vergleichenden Anatomie und Physiologie der Magenverdauung. — Das Nahrungsrohr der Wirbelthiere besteht wie das des Menschen aus Drüsenepithel mit Schleim-

haut), Muskelhaut und Serosa mit einem äusseren Epithel). Die Schleimhaut des Magens (Leydig) ist gewöhnlich längsgefaltet, entbehrt aber, wenigstens im Labmagen, der eigentlichen Zotten, nur die Magenabtheilungen der Wiederkäuer, die vor dem Labmagen liegen, besitzen meist mannigfach vorspringende, warzen- und blattartige Bildungen (cf. neuntes Capitel). Das Epithel des Magen und Darms ist im Allgemeinen Cylinderepithel. Bei Cobitis fossilis sind die tieferen Schichten der Epithelzellen cylindrisch, die Oberflächen dagegen rund. Bei Batrachiern, dann bei Rochen und Haien flimmert das Epithel während des Fötallebens, bei Amphioxus und Petromyzon (J. Müller, Leydig) zeitlebens. Wo der Magen zusammengesetzt ist (Wiederkäuer), beginnt das Cylinderepithel erst im Labmagen, während die vorhergehenden ein geschichtetes, verhorntes Plattenepithelium tragen wie der Schlund. Dasselbe findet sich wohl überall in der Portio cardiaca des Magens, wenn wie bei Nagern und Pferd eine deutliche Scheidung in diese und in eine Portio pylorica vorhanden ist; letztere hat Cylinderepithel. Der Muskelmagen der Vögel hat auch Cylinderepithel (Leydig). Bindegewebe und sackartige Einstülpungen des Epithels bilden die Schleimhautdrüsen, die übrigens in der ganzen Schleimhaut des Nahrungsrohrs fehlen, bei Petromyzon, Myxine, Cobitis fossilis.

Von der drüsenlosen Schleimhaut ergeben sich Uebergänge durch kurze Säckchen bei den Batrachiern und beschuppten Reptilien, zu den Magendrüsen, die eine einfache oder zusammengesetzte Schlauchform erkennen lassen. Diese Schläuche treten in einigen Fällen noch zu höheren Elementen zusammen. Im Muskelmagen der Vögel stehen die schmalen schlauchförmigen Drüsen immer truppweise zusammen; im Drüsenmagen der Vögel werden grössere Gruppen solcher Schlauchdrüsen durch eine gemeinsame bindegewebige Hülle zu einem abgeschlossenen Paquet verbunden. Bei denjenigen Säugethieren, bei welchen sich der Magen in eine Portio pylorica und cardiaca abschnürt, findet sich in einigen Fällen für den linken Abschnitt, der dann gewöhnlich drüsenlos ist, eine eigene starke Drüsenschicht, »eigentlich zusammengesetzte Labdrüsen« (Leydig); an der Cardia liegen solche bei Phascolomys, Phascolarctus und Castor. Beim Siebenschläfer bilden sie eine Art Vormagen, bei anderen bilden sie die erwähnten Aussackungen: Hypudaeus, Lemmus, Manis (Gegenbaur). Beim Biber besteht die grosse Magendrüse aus schlauchförmigen Labdrüsen, die in Gruppen geordnet in kavernöse Räume münden. Bei Manatus australis finden sich in einer blindsackartigen Ausbuchtung »zusammengesetzte Magendrüsen«, welche im Grossen das Bild der einfachen Labdrüsen wiederholen. Grössere schlauchförmige Hohlräume scheinen bei schwacher Vergrösserung wie mit Cylinderzellen besetzt, diese letzteren lösen sich aber bei starker Vergrösserung jede in einen einfachen Drüsenschlauch mit Epithel auf, die alle in einen gemeinsamen Ausführungsgang münden, der dem Lumen der einfachen Drüse ganz analog erscheint. Die Abbildung, welche Leydig von diesen Drüsen gibt, zeigt, dass von den Drüsenmägen der Vögel und ihren vereinigten Drüsen (Bischoff) kein Sprung bis zu dieser Form gemacht ist. Die sogenannten zusammengesetzten Magendrüsen der Säuger (Hund, Katze, Pferd, Hase, Kaninchen, Schwein etc. und Mensch) bilden die Uebergänge zwischen den einfachen Schläuchen zu jenen Anordnungen im Vogelmagen, so dass allmälige Uebergänge von der glatten, drüsenlosen Schleimhaut bis zu den entwickeltsten Formen der wahren zusammengesetzten Magendrüsen führen.

Bei Vögeln und Säugern finden sich die zweierlei Sekretionszellen in den Drüsenschläuchen vor, die wir oben bei dem Menschen besprachen, cylindrische und rundliche, was auf zweierlei Sekrete der Magenschleimhaut hindeutet. Bei den Säugern liegen die Drüsen mit rundlichen Zellen (Labdrüsen) zumeist in der Cardialportion des Magens, die mit cylindrischen Zellen (Magenschleimdrüsen) meist im Pylorustheil. Bei den Vögeln besitzt der Proventriculus Labdrüsen, der Muskelmagen Drüsen mit Cylinderzellen. Ob auch bei Fischen und Amphibien eine solche Trennung herrscht, ist noch nicht sicher gestellt. Beim Stör und Polypterus fand Leydig nur Drüsen mit Cylinderzellen im Magen. Ueber die vergleichende Anatomie der Magenschleimhaut der Wirbellosen vergleiche das folgende Capitel.

Von den Thieren, welche mehrere Magenabtheilungen haben, scheint bei den Wieder-

käuern nur der Labmagen Drüsenmagen der Pepsin- und Säureabsonderung zu dienen. Die anderen Mägen sind, wie zunächst der Pansen, Reservoirs der noch wenig zerkleinert verschluckten Speisen, in denen sie vor Allem unter der Einwirkung des bei diesen Thieren in grösster Menge abgesonderten Speichels und der mitverschluckten Luft der Gährung, Maceration und Quellung unterliegen. Hierbei steigt die Temperatur bis über 39°, oft unter bedeutender Gasentwicklung. Die Massen reagiren schwach alkalisch. Wie im Kropf der Vögel, wirken auch in den Vormagen, welche vergleichend-anatomisch der Speiseröhre zuzurechnen sind, die hier eintretenden Vorgänge ganz im Sinne der Mund-, resp. Speichelverdauung, wenn auch das Sekret wirklich selbst keine diastatische Wirkung besitzen sollte. G. Herrendorfer gibt an, dass die drei Vormägen von Wiederkäuern, welchen die Labdrusen und andere drüsenartige Elemente fehlen, doch ein verdauungskräftiges Ferment und zwar Pepsin liefern. Er denkt an eine Infiltration des im Labmagen gebildeten Pepsins in die Schleimhäute der Vormägen, wohin es aus ersterem gelangen könne, oder es sei das Pepsin ein überall sich bildender Stoff, der aber nur im Magensaft in grösseren Mengen zur Ausscheidung gelange. In den Vormägen mag die Verdauung der Cellulose beginnen, welche bei Wiederkäuern in reichlichem Maasse erfolgt. Auch bei fleischfressenden Thieren kommen mehrfache Mägen vor, über deren physiologische Bedeutung man noch wenig unterrichtet ist.

Ueber die quantitative Zusammensetzung des Magensaftes verschiedener Thiere verglichen mit dem des Menschen haben wir von C. Schmidt genaue Untersuchungen; nach seinen Analysen findet sich die Zusammensetzung: in Procenten:

	Mensch (im Mittel) speichelhaltiger Magensaft:	Hund (im Mittel) speichelfrei:	speichelhalt.:	Schaf:	Pferd (nach Frerichs):
Wasser	99,440	97,30	97,12	98,615	98,28
feste Stoffe	0,560	2,70	2,88	1,385	1.72
davon organische Stoffe	0,310	1,71	1,73	0,405	0,98
Clornatrium	0,146	0,25	0,31	0,436	
Chlorkalium	0,055	0,11	0,11	0,152	
Chlorcalcium	0,006	0,06	0,17	0,011	
Chlorammonium	—	0,05	0,05	0,047	
freie Salzsäure	**0.20**	**0,31**	**0,23**	**0,123**	0.74
phosphorsaurer Kalk	0,012	0,17	0,23	0,118	
phosphorsaure Magnesia		0,02	0,03	0,057	
phosphorsaures Eisenoxyd		0,01	0,01	0,033	

Für den menschlichen Magensaft berechnet Marcet 0,253% freie Salzsäure (cf. oben). Lehmann fand bei Hunden im Magensaft (speichelhaltig) 0,098—0,132% Salzsäure, ausserdem 0,32—0,59% Milchsäure. Die Magensaftsekretion war durch Darreichung von Knochen angeregt, was in Betreff der Milchsäure wichtig erscheint.

Die Auszüge der Magenschleimhaut des Hechts verdauen Eiweissstoffe nach Fick, Muricie und Hoppe-Seyler am raschesten bei 20°, nicht bei 40°, wie das gewöhnliche Pepsin. Der oberhalb der Einmündung der Gallenblase gelegene kleine Abschnitt des Darmtractus der Cyprinoiden (C. tinca, Chondrostoma nasus, Scardmius erythrophthalmus, Abramis brama) hat keinerlei verdauende Wirkungen (Brücke, Hoppe-Seyler und Homburger). Das Extrakt des unterhalb gelegenen Darmstücks, sowie dessen ausgedrückter Inhalt verdauten Fibrin und in vielen Fällen Stärkemehl. Dieselben Wirkungen zeigten das Extract der »Leber« und die Galle. Letztere spalteten auch von Fetten Fettsäuren ab. Die Wirkung ist also dem Pancreas analog. — Ch. Richet untersuchte den Magensaft von Haifischen und anderen fleischfressenden Fischen und fand denselben als keine Flüssigkeit, sondern eine schleimige cohärente Masse von stark saurer Reaction, welche auf Salzsäure berechnet 10—15 p. m. entsprechen würde. Er hält im Magensaft die Salzsäure z. Th. an organische Substanzen als »eine Art saures Salz« gebunden. Der »Magensaft des Krebses« wird von den sogenannten »Lebern« secernirt, massigen tubulösen Drüsen, welche in den untern

Abschnitt des Magens münden. Hoppe-Seyler erklärt dieselben für Pancreas. Ihr Saft, der »Magensaft«, verdaut Albumin ohne Quellung, verdünnte Salzsäure 0,2 % unterbricht diese Verdauung. Der Saft führt Stärke in Zucker über und spaltet Fett in freie Säure und Glycerin. Kruckenberg findet darin Pepsin und Trypsin. Bei vielen Arthropoden kommen diese Fermente einzeln vor.

Fleischfressende Pflanzen. Sehr merkwürdige Beobachtungen wurden von Ch. Darwin, Hooker und Burdon-Sanderson u. A. gemacht, aus welchen sich ergibt, dass einige durch Reizbarkeit ausgezeichnete Pflanzen, welche mit Fangvorrichtungen für Insekten ausgestattet sind, von letzteren Nahrungsstoffe in sich aufnehmen können. Sie ergiessen dazu ein deutlich sauer reagirendes Sekret, welches Eiweissstoffe unter Bildung von Peptonen löst, welche letztere von der Pflanzenoberfläche resorbirt werden können. Die Pflanzen sind: Droseraceen (Drosera rotundifolia), Pinguicula, Nepenthesarten u. a. Nach Darwin wird nur dann Pepsin von diesen Pflanzen gebildet, wenn dem Blatte ein stickstoffhaltiger Körper zur Resorption dargeboten wird. Nach Gorup und Will verläuft die Fibrinverdauung (bei Nepenthes) am raschesten bei Zusatz von Ameisen-, Aepfel- und Citronensäure; ersterer hat auch in gekeimten Samen Pepsin gefunden, Kruckenberg in Myxomyceten-Plasmodien.

Zur historischen Entwickelung der Verdauungslehre. — 2. Die Magenverdauung. Es pflegte das Alterthum (Hippokrates) die Magenverdauung mit einer Kochung zu vergleichen. Es war bekannt, dass die Speisen im Magen sich lösen, zu einem Brei verflüssigen. Galen, der eine genaue Beschreibung des Magens liefert, sagt z. B. vom Pylorus, er werde Pförtner genannt, »weil er wie ein guter Thürhüter darüber wacht, dass nur der aufgelöste und verdaute (gekochte) Speisebrei durch seine enge Pforte hindurchgeht, während er, sobald sich etwas Unverdautes oder Hartes ihm naht, die Oeffnung vor ihm zuschliesst und dasselbe zurücktreibt in den Grund des Magens«. Analog der Bearbeitung der Speisen in der Mundhöhle dachte man auch an eine mechanische Zerreibung durch die Magenwände, wozu bekanntlich bei dem Menschen die mechanischen Einrichtungen fehlen. Die (chemische) Auflösung der Speisen stellte man sich später unter dem Bilde einer Gährung (Fermentation (Boerhaave) vor, wobei die chemischen Bestandtheile der Speisen selbst auf einander einwirken sollten; in wie weit die neueren Anschauungen auf diese Annahme zurückkommen, wurde oben dargestellt (cf. Speichel im Magen). Haller nannte den Vorgang im Magen: Maceration. Auch an wahre Fäulnissvorgänge (Putrefaktion) der Speisen wurde gedacht. Andere nahmen eine Anzahl kleiner Würmer an, welche die Speisen im Magen angriffen und zertheilten.

Im Jahre 1752 führte Réaumur den Beweis, dass der Magen eine Flüssigkeit absondere: Magensaft, welcher auf die Speisen lösend einwirke. Seine und später Spallanzani's Versuche waren zunächst gegen die Theorie von den mechanischen Einflüssen des Magens auf die Verdauung gerichtet. Sie liessen Speisen, Fleisch, Brod, Knorpel etc. in durchlöcherten Kapseln verschlucken und beobachteten, dass diese Stoffe, auf welche kein Druck von den Magenwänden ausgeübt wurde, nichsdestoweniger verdaut werden. Réaumur und später Spallanzani waren die ersten, welche mit natürlichem Magensaft ausserhalb des Magens Verdauungsversuche anstellten. Sie verschafften sich den Magensaft dadurch, dass sie Schwämme an Fäden befestigt verschlucken liessen, die den Magensaft einsaugten. Spallanzani schloss die Schwämme in dünne, metallene, durchlöcherte Röhren ein, die er die Thiere verschlucken und nach einiger Zeit durch Erbrechen wieder entleeren liess. Menschlichen Magensaft suchte er dadurch zu erhalten, dass er bei nüchternem Magen mechanisch Brechen erregte. Früher pflegte man sich fälschlich den Magensaft dadurch zu verschaffen, dass man Thiere mehrere Tage fasten liess und nach dem Schlachten den Mageninhalt untersuchte, der bei Wiederkäuern dann in ziemlicher Masse vorhanden ist; nach Macquart liefert ein hungernder Ochse etwa anderthalb Pfund, offenbar, obwohl sauer reagirend, der Hauptmasse nach Speichel. Auch die anderen oben angeführten Methoden der Gewinnung konnten den Magensaft nur mit Schleim, Speichel etc. vermischt liefern, übrigens auch nur in geringer Menge.

Da man den Magen für das Universalverdauungsorgan hielt, so schrieb man zunächst

dem Magensafte die Eigenschaft zu, für die verschiedenen Nahrungsmittel ein Universalauflösungsmittel zu sein. So gab SPALLANZANI (1783) an, dass der Magensaft, den er nur bei vegetabilischer Nahrung für sauer hielt, Auflösungsmittel für die Nahrungsstoffe sowohl ausser als in dem Körper sei, dass er bei gewöhnlicher Temperatur nicht faule, thierische Stoffe vor Fäulniss bewahre und sie mit Hülfe von Wärme auflose. CARMINATI fand bald darauf (1785) den Unterschied in der Reaktion des Magensaftes (Magenschleimes) fastender und verdauender fleischfressender Thiere. Bei den ersteren fand er den Magensaft nicht sauer, stark sauer bei den letzteren. Mit Recht bezeichnet BERZELIUS diese Beobachtung als den ersten Lichtstrahl in der Erforschung dieses Gegenstandes. Man würde aber sehr irren, wenn man glaubte, dass CARMINATI durch seine Beobachtung sogleich auf die Annahme der Absonderung eines sauren Saftes im verdauenden Magen geführt worden wäre. CARMINATI suchte den Magensaft der fleischfressenden Thiere dadurch künstlich nachzuahmen, dass er 2 Quentchen frisches Kalbfleisch mit 1 Unze Brunnenwasser und 5 Gran Kochsalz in einem Glas bei einer Temperatur von ungefähr 100° Fahr. = 37,7° C. 16 Stunden lang digerirte, dann die Flüssigkeit abgoss, welche nun die Lakmustinktur röthete. Dieser künstliche Magensaft (sic!) CARMINATI's konnte durch wiederholtes Digeriren mit frischem Fleische stärker und dem natürlichen noch ähnlicher gemacht werden! Wenn diese Beobachtung auch für die Erklärung des sauren Magensaftes von keiner Bedeutung ist, so enthält sie doch die erste Angabe von der Veränderung der Reaktion des Fleischsaftes von der neutralen zur sauren bei der Temperatur des Körpers, eine Beobachtung, welche für die Muskel- und Nervenphysiologie von so entscheidender Bedeutung werden sollte. Uebrigens fand CARMINATI auch den Magensaft kräuterfressender Thiere unter Umständen sauer. Erst 1800 zeigte WERNER, dass die Masse im Magen sowohl bei fleisch- als grasfressenden Thieren während der Verdauung stets sauer sei. Noch einmal wurde im Jahre 1812 durch MONTEGRE, der das Vermögen besass, willkürlich zu brechen, die Wirksamkeit des Magensaftes vollkommen geleugnet, seine Säuerung für das Zeichen einer beginnenden Zersetzung erklärt. Im Jahre 1824 zeigte PROUT wieder, dass der Magensaft wirklich sauer ist, und dass diese Säuerung zunächst nicht von einer organischen, sondern von einer anorganischen Säure bedingt sei, und zwar von Salzsäure. MACQUART wollte bei Wiederkäuern (1786) freie Phosphorsäure im Magensaft gefunden haben, im Magensaft des Kalbes hatte er Milchsäure beobachtet, während MORVEAU die Magensaftsäure als eine eigenthümliche organische Säure aufführte. PROUT verschaffte sich seinen Magensaft aus dem Magen verdauender Thiere. TIEDEMANN und GMELIN hatten selbständig den Beweis geliefert, dass der Magensaft einen Gehalt an freier Salzsäure besitze, sobald Nahrungsstoffe verschluckt worden sind. Nach TIEDEMANN und GMELIN ist der Magensaft, aus leerem Magen mit vielem Schleim vermischt, nicht sauer. Neben der Salzsäure fanden sie im Magen des Pferdes auch Essigsäure und Buttersäure; BERZELIUS: Milchsäure. TREVIRANUS glaubte zu finden, dass die Masse aus dem Darmcanal von Hühnern, mit Wasser vermischt und in einer Porzellanschale digerirt, die Glasur derselben stark angriff. TIEDEMANN und GMELIN gelang es dagegen nicht, im Magensafte einer Ente die auch nach älteren Angaben vermuthete Fluorwasserstoffsäure nachzuweisen. Im Jahre 1831 musste noch BERZELIUS seine Beschreibung des Magensaftes mit den Worten schliessen: »Man weiss durchaus nicht, ob die im nüchternen Zustand abgesonderte nicht saure Flüssigkeit von denselben Gefässen, wie die saure während der Verdauungszeit erzeugt oder ob sie von verschiedenen und für jede eigenthümlichen Gefässen secernirt werden, gleichwie z. B. der Schleim aus eigenen Drüsen abgesondert wird. Wenigstens hat man bis jetzt kein für die Absonderung des Magensaftes eigenthümliches Absonderungsorgan entdecken können«. MAGENDIE, an der Grenze der Neuzeit (1820), sagt ähnlich bescheiden über die damaligen Verdauungshypothesen: »Die Beschaffenheit der chemischen Veränderungen, welche die Speisen im Magen erleiden, ist unbekannt. Wenn man auf diese (bis zu jener Zeit aufgestellten) Systeme die strenge Logik, welche von jetzt an in der Physiologie herrschen muss, anwendet, so kann man in denselben nichts finden, als eine Folge des Bedürfnisses, welches der Mensch hat, seiner Einbildungskraft zu genügen, und sich über Gegenstände, welche ihm unbekannt sind, zu täuschen. War man denn wirklich um Vieles weiter gekommen, als man

gesagt hatte, die Verdauung sei eine Kochung, eine Gährung, eine Maceration? Nein, denn man verband keine bestimmten Begriffe mit den Worten«. Es scheint mir, dass wir uns heute noch eine berechtige Lehre aus diesen Worten des grossen Physiologen ziehen dürfen.

Wir sehen die Erkenntnisse über die Vorgänge im Magen von den dreissiger Jahren unseres Jahrhunderts an eine rasche Entwickelung nehmen. Das Wichtigste, was neu gewonnen wurde, war unstreitig die Erkenntniss der Absonderungsorgane des Magensaftes. Früher hatte man wohl die kleinen mit blossem Auge wahrnehmbaren Grübchen als Drüsen betrachtet. Magendie behauptete, dass man in der Pförtnerhälfte des Magens eine grosse Anzahl von »Schleimbälgen« bemerke, denen ein Einfluss auf die Menge und Beschaffenheit der daselbst abgesonderten Flüssigkeit zugeschrieben werden könnte. Im Jahre 1836 wurde nachgewiesen (Sprott, Boyd), dass in jedes der oben genannten Magengrübchen eine Anzahl verschiedener Drüsenröhrchen münde. 1830 erkannte Bischoff die Verschiedenheit der Drüsen an der Pars pylorica des Hundemagens von den übrigen Magendrüsen. Wasmann, Todd und Bowman, Henle, Kölliker, Krause, Donders setzten die Beobachtungen fort. Brücke entdeckte die Muskelschicht der Schleimhaut, Gerlach studirte die Gefässvertheilung.

Der weitere Fortschritt bestand darin, dass es glückte, die Magenabsonderung im Magen eines lebenden Menschen direct zu beobachten. Im Jahre 1834 erschienen zu Boston die Untersuchungen Beaumont's über den Magensaft und die Physiologie der Verdauung, welche an einem Manne, St. Martin, angestellt waren, der durch eine Schusswunde eine zufällige Magenfistel davon getragen hatte (S. 289). Ein ähnlicher Fall wurde 1853 durch Bidder und Schmidt (Grünewald und Schröder) bei einer gesunden esthnischen Bäuerin beschrieben. Neuere Fälle von menschlichen Magenfisteln cf. oben l. c. Die zufälligen Magenfisteln erweckten den Gedanken, solche künstlich an Hunden anzulegen. Die ersten Magenfisteln wurden von Bassow 1842 und Blondlot 1843 angelegt, wodurch die Untersuchungen über die Magenverdauung wesentlich gefördert wurden. Bardeleben verbesserte die Methode an Hunden, Bidder und Schmidt legten eine Magenfistel bei einem Schafe an.

Neben der Verbesserung der Methode wurde auch ein tieferer Einblick in den Chemismus der Verdauung angestrebt. Die Entdeckungen über die freie Säure im Magensaft hatten zunächst auf den Gedanken gebracht, dass sie es sei, unter deren Wirkung die Lösung der aufgenommenen Speisen stattfinde. Eine genauere Beobachtung (Beaumont, J. Müller etc.) führte dagegen zu dem Schluss, dass in den Säuren allein die Ursache der Magenverdauung nicht liegen könne (cf. S. 284).

In demselben Jahre, in welchem Beaumont's wichtige Untersuchungen bekannt wurden (1834), trat auch Eberle mit Beobachtungen auf, nach welchen dem »Magenschleim« das Vermögen zukommen sollte, in sauren Flüssigkeiten Eiweissstoffe, Fleisch und leimgebende Stoffe zu lösen. Weder der Schleim allein noch die Säure allein sei dazu im Stande. Eberle beobachtete, dass dabei die Eiweissstoffe ihre Fähigkeit zu gelatiniren verloren. Er hatte damit die Grundlage der modernen Verdauungslehre gelegt, doch hatte er zunächst allem Schleim die gleiche Wirkung wie dem »Magenschleim« zuerkannt. 1836 wurden die Beobachtungen Eberle's von J. Müller und Schwann bestätigt, doch die lösende Wirkung auf den »Magenschleim« beschränkt. Man gewann die Flüssigkeit zur künstlichen Verdauung dadurch, dass man den Labmagen des Kalbes abpräparirte, so lange mit Wasser wusch, bis sie nicht mehr sauer reagirte, und dann trocknete. So konnte die Schleimhaut aufbewahrt werden, und war jederzeit zu den Versuchen anwendbar. Schwann setzte die Untersuchungen über die Natur des »Verdauungsprincipes« noch weiter fort. Er fand, dass das »Verdauungsprincip, Lab oder Pepsin« in Wasser löslich sei, es war also nicht der Schleim selbst. Schwann studirte die Frage, wie die Säure zur Verdauung mitwirke und die Aehnlichkeit der Verdauung mit den »Fermentwirkungen«. Schwann versuchte auch das Pepsin darzustellen; er fällte es durch essigsaures Blei; aus dem Niederschlag gewann er es mit seinen Eigenschaften wieder, indem er es durch Schwefelwasserstoff vom Blei trennte. Pappenheim und Wasmann (1839) haben diese Beobachtungen fortgesetzt und erweitert. Der Letztere verfuhr bei seinen Versuchen, das Pepsin darzustellen, analog wie Schwann; Frerichs fällte es mit Alkohol,

C. Schmidt mit Sublimat. Eine Methode, nach welcher man (ziemlich peptonfreies Pepsin erhält, stammt von Brücke her, der durch eine Fällung durch phosphorsauren Kalk und durch Cholesterin das Pepsin mechanisch niederreisst und dann von den Beimischungen trennt. In dieser Art dargestellt gibt es nur spurweise Eiweissreaktion. Nach v. Wittich zieht man das Pepsin durch Glycerin aus der Schleimhaut aus. In Beziehung auf die Theorie der Pepsinwirkung glaubt C. Schmidt, dass im Magensaft das Pepsin mit der Salzsaure zu Pepsinchlorwasserstoffsäure verbunden sei. Diese Säure gebe (nach den neuesten Darstellungen, die Salzsäure bei der Verdauung an die Albuminate ab, welche diese im status nascens in Peptone verwandele; das freigewordene Pepsin verbinde sich wieder mit Salzsaure, wodurch der Process von Neuem beginnt. Aehnlich ist die Meinung Hoppe-Seyler's S. 284.

Die Veränderungen, welche die Nahrungsstoffe im Magen erfahren, waren auf die Albuminate und die leimgebenden Substanzen beschränkt. Schwann zeigte nach der Entdeckung Leuch's über die verdauende Wirkung auf Stärke, welche Tiedemann und Gmelin auch im Magen beobachtet hatten, dass diese Wirkung auf mitverschluckten Speichel zu beziehen sei. Dass die Veränderung, welche die Albuminstoffe im Magen erfahren, keine Fäulniss sei, wurde durch die Beobachtung der antiseptischen Eigenschaften des Magensaftes (d. h. seiner Säure) (Beaumont u. A.) widerlegt. Früher hatte man geglaubt, die löslichen Eiweissstoffe würden unverändert resorbirt. Zuerst beobachtete man dagegen die Gerinnung des Käsestoffs der Milch im Magen. Prout und Beaumont fanden, dass auch flüssiges Eiweiss durch Magensaft umgewandelt werde, so dass es seine Gerinnungsfähigkeit verliert. Eberle untersuchte die Eigenschaften der im Magensafte aufgelösten Proteïnverbindungen. Mialhe wies die grosse Uebereinstimmung derselben nach und nannte sie »Albuminose«. Genauere Untersuchungen der »Peptone« verdanken wir Lehmann und Meissner, die den Bildungsgang der Peptone genauer zu zergliedern suchten. Brücke's und v. Wittich's Untersuchungen über die Verdauung haben in der neuesten Zeit die wesentlichsten Aufschlüsse ertheilt.

Aerztliche Betrachtungen und die Untersuchung der Magenkontenta. — Nach Injectionen ins Blut und sonstiger Einführung gehen in den Magensaft über: Jodkalium (als HJ), Rhodankalium, milchsaures Eisenoxyd, Ferrocyankalium, Zucker u. a.

Concentrirte Lösungen von Alkalisalzen reizen die Magenschleimhaut, rufen ein alkalisches Transsudat hervor und schaden dadurch der Magenverdauung, so wirken schwefelsaures Natron und schwefelsaure Magnesia, auch Kochsalz in hoher Concentration. (Ueber Wirkung von Metallsalzen cf. oben S. 187.)

Galle und Speichel wirken, wenn sie in grossen Mengen in den Magen gelangen, Brechenerregend, sie neutralisiren das Magensekret vermöge ihrer alkalischen Reaction. Die Gallensäuren fällen Pepton aus, wobei auch das Pepsin z. Thl. mitgerissen wird. Geringe Gallenmengen in den Magen ergossen stören aber, wie es scheint, die Verdauung wenig, was an Pepsin unwirksam wird, wird wohl überreichlich ersetzt durch das mit der Galle in den Magen tretende Pankreassekret, dessen Wirkung in galligem Erbrochenen nachzuweisen ist.

Im Erbrochenen haben wir den verschiedensten Mageninhalt gemischt mit den Elementen des Auswurfs (cf. diesen) vor uns. Auch Galle findet sich häufig beigemischt; manchmal macht sie die Hauptmasse des Erbrochenen aus. Bei Magenkatarrhen findet sich im Erbrochenen viel Milchsäure, Essigsäure, Buttersäure, die sich nach Hoppe-Seyler vorzüglich dann bilden, wenn die natürliche Säure im Magen fehlt. Gewöhnlich versteht man diesen Zustand unter »Dispepsie«, eine Dyspepsie (Störung der normalen Verdauung) durch Mangel an abgesondertem Pepsin ist noch nicht constatirt. Die angeführten abnormalen Säuren des Magensafts brauchen an sich die Verdauung nicht zu hindern. Namentlich wirkt Milchsäure bei der Verdauung ganz ähnlich wie Salzsäure, dasselbe thut Salpetersäure (0,2%); Schwefelsäure, Phosphorsäure, Essigsäure, Ameisensäure, Weinsäure, Citronensäure wirken viel schwächer. Bei krankhaften Veränderungen des Magens findet sich im Erbrochenen häufig Blut, das durch den Magensaft meist in eine kaffee-

satzähnliche, bräunliche Masse verändert ist (S. 284). Manchmal ist das erbrochene Blut noch flüssig. Daneben finden sich bei Zerstörungen des Magens Gewebsbestandtheile derselben, Krebszellen und Zellen anderer Pseudoplasmen, Pilze, Infusorien etc.

Fig. 65a.



Formbestandtheile erbrochener Massen. *a* Labzellen; *b* Cylinderepithelien; *c* Schleimkörperchen; *d* Pflasterzelle der Mundhöhle; *e* Sarcina ventricnli; *f* Cryptococcus cerevisiae; *g* Amylonkörper; *h* Fetttropfen; *i* Muskelfaser.

Das Mikroskop kann ausser den bei dem Auswurf genannten Epithelien etc. noch zeigen: Cylinderzellen, Eiterkörperchen, Pigmentzellen, Blutkörperchen, Pilze, wie Sarcina ventriculi und gewöhnliche Gährungspilze. Als Speisereste: Stärkekörner, Pflanzenreste, Pflanzengefässe, Spiralfasern, Chlorophyllkörner, Fetttröpfchen, Fettzellen, Muskelstückchen, glatte Muskelfasern, Bindegewebs- und elastische Fasern (Fig. 65a).

In dem grünen und blauen Erbrochenen (Vomitus aerugineus) ist der färbende Bestandtheil in den Magen ergossene, von der Salzsäure desselben in Biliverdin resp. Bilicyanin (Heynsius) oder Cholecyanin (Stokvis) veränderte Galle. Stokvis zeigte, dass der Gallenfarbstoff durch die verschiedensten Oxydationsmittel, auch durch Salzsäure bei Gegenwart von Ozon in den blauen Farbstoff umgewandelt werden kann. Bei Cholera und Urämie (letztere auch künstlich bei Thieren hervorgerufen) wurde im Erbrochenen Harnstoff oder kohlensaures Ammoniak nachgewiesen, letzteres aus dem ersteren vielleicht erst im Magen entstanden. Das Erbrochene reagirt dann stark alkalisch.

Bei Magendilatationen, Gasteroectasie findet R. van der Velden im Mageninhalte stets Pepsin und meist freie Salzsäure, es fehlt aber die Salzsäure dauernd in allen jenen Fällen, welche sich bei krebsiger Entartung entwickeln; bei Magenkatarrhen und fieberhaften Zuständen kann die Salzsäure im Magensaft vorübergehend fehlen.

Achtes Capitel.

Verdauungsvorgänge im Darme.

Der Dünndarm ist das Hauptverdauungsorgan.

Der saure Speisebrei, der noch bedeutende Mengen aller der Stoffe unverändert in sich enthält, die der Einwirkung des Magensaftes und Speichels ausgesetzt waren, gelangt durch den Pförtner stossweise in kleinen Partien in den Dünndarm, um dort noch weitere Veränderungen zu erleiden. Theilweise sind diese Veränderungen ganz derselben Art und betreffen die gleichen Stoffe, wie wir sie in den beiden letzten Capiteln besprochen haben. Die Eiweissstoffe und das Stärkemehl werden noch möglichst vollständig gelöst und diffusionsfähig gemacht, in Pepton und Zucker umgewandelt. Die im Magen eingeleitete Milchsäuregährung geht wohl im ganzen Dünndarm ebenfalls fort (Brücke).

Andererseits findet im Darme eine Stoffgruppe die Bedingungen ihrer Aufnahme, die bisher noch keine Verdauung erfahren hatte: die Fette.

Um dieses complicirte Resultat der Stoffumänderung zu erreichen, erhält der Darm mehrere Verdauungsflüssigkeiten. Seine Schleimhaut selbst und die in ihr enthaltenen meist schlauchförmigen Drüsen liefern ein Sekret: den Darmschleim oder Darmsaft. Ausserdem ergiesst sich in den Zwölffingerdarm das Sekret der Bauchspeicheldrüse, der Saft des Pankreas, der dort mit dem Produkte der Leberabsonderung: der Galle, zusammentrifft.

Diese drei für die Verdauung wirksamen Säfte mischen sich dem von dem Magen kommenden Chymus bei und vollenden die Veränderungen, die zur Ueberführung der in letzterem enthaltenen Nahrungsstoffe in die Säftemasse des Körpers nothwendig sind. Was Mundhöhle und Magen begonnen und vorbereitet, wird von dem Darme vollendet. Es unterliegt keinem Zweifel, dass der Dünndarm als Hauptorgan der Verdauung zu betrachten ist.

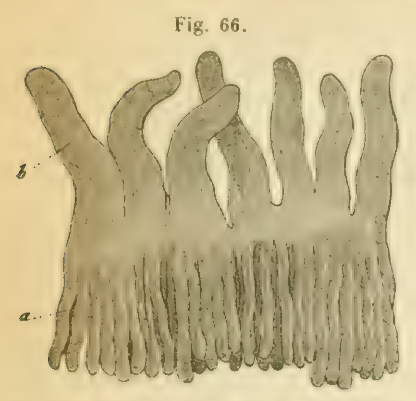
Die Sekrete, welche sich im Darm dem sauren Chymus zumischen, sind durchweg alkalisch; von Aussen nach Innen schreitet daher in dem in den Darm übergetretenen Chymus eine Umwandlung der saueren Reaktion in eine alkalische vor, die schon, ehe er die Mitte des Dünndarms erreicht hat, vollendet ist.

Darmschleimhaut und Darmsaft.

Wir beginnen mit dem Darme und dem spärlichen Sekrete seiner Schleimhaut und deren Drüsen, dem Darmschleime oder Darmsafte.

Die Schleimhaut des Darmes ist dünner als die des Magens. Wir sehen in ihr dicht gedrängt, eine neben der anderen, einfach schlauchförmige Drüsen: die LIEBERKÜHN'schen Drüsen, die Schleimhaut senkrecht auf ihre Oberfläche durchsetzen. Sie entsprechen den Magenschleimdrüsen im Bau; wie in jene setzt sich auch in diese das Cylinderepithel der Darmoberfläche ununterbrochen fort und kleidet sie vollständig aus. Die innere Darmoberfläche erhebt sich in zahlreiche feine Fältchen und Zöttchen, die in Cap. IX zu beschreibenden Darmzotten, welche der Oberfläche ein sammtartiges Aussehen verleihen. Rings um diese Darmzotten öffnen sich die LIEBERKÜHN'schen Drüsen (Fig. 66). Sie sind im ganzen Darme verbreitet. Ihre Länge wird durch die Dicke der Schleimhaut bedingt, da sie dieselbe in ihrer ganzen Dicke durchsetzen: 0,3 — 0,4 mm, ihre Breite beträgt 0,06 — 0,08 mm. Jede Drüse zeigt eine zarte, von einer Membrana propria gebildete Hülle.

Fig. 66.



Die Dünndarmschleimhaut der Katze im senkrechten Durchschnitt. *a* Die LIEBERKÜHN'schen Drüsen; *b* die Darmzotten.

Die Blutgefässe umspinnen die schlauchförmigen Darmdrüsen ziemlich ebenso, wie wir es bei den Magendrüsen gesehen haben.

Die Nerven sind mit Sicherheit noch kaum weiter als in das submuköse Bindegewebe des Darmes verfolgt, wo sie überraschend reiche Geflechte bilden, in denen MEISSNER eine grosse Anzahl von Ganglienzellen entdeckte, welche zweifellos als nervöse Bewegungs- und Sekretions-Centralorgane des Darmes aufzufassen sind, und diesem die grosse Selbständigkeit in den betreffenden Beziehungen ertheilen, von der wir unten hören werden.

Ausser den LIEBERKÜHN'schen Drüsen finden sich in dem obersten Abschnitte des Darmes auf das Duodenum beschränkt auch noch traubenförmige Drüsen: BRUNNER'sche Drüsen, welche in ihrer Gestalt, Grösse und im Bau Analogien mit den traubenförmigen Mundschleimhautdrüsen, in ihrer physiologischen Funktion wahrscheinlich mit der Pankreasdrüse zeigen. Sie stehen von dem Pylorus an bis zur Einmündungsstelle des Gallenganges. Direct am Magen bilden sie eine zusammenhängende Lage. Sie sitzen unter der eigentlichen Schleimhaut und senden ihre Ausführungsgänge durch diese hindurch. Ihre Grösse beträgt von

Fig. 67.

Die BRUNNER'sche Drüse des Menschen.

0,2 — 1,0 mm, so dass man sie mit blossem Auge zu sehen bekommt, wenn man die Schleimhaut von der Muskelhaut abzieht (Fig. 67, S. 300). Ihre Blutgefässe verhalten sich analog wie die der Schleimdrüsen der Mundschleimhaut. Im Hungerzustande sind die Drüsenzellen trübe und klein, sie werden aber gross und hell bei der Verdauung. (Physiologisches cf. bei Pankreas.)

Im ganzen Darme finden sich noch reichlich »geschlossene Follikel«. Sie sind den bisher in den Schleimhäuten beschriebenen entsprechend gebaut und sind hier wie dort als einfachste Lymphdrüsen zu betrachten, an welche die Lymphgefässkapillaren aus der Darmschleimhaut und zwar besonders aus den Zotten derselben herantreten, und von denen dann weitere Lymphgefässchen wieder abgeben. Die geschlossenen Follikel finden sich hier entweder einzeln: solitäre Follikel: Glandulae solitariae, oder zu Haufen vereinigt zu den PEYER'schen Follikelhaufen. In Bau und Grösse zeigt sich zwischen den Follikeln kein Unterschied. Im Dickdarm finden sich die geschlossenen Follikel in grösserer Anzahl als im Dünndarme, besonders stehen sie im Wurmfortsatze gedrängt. Sie sind dort etwas grösser und zeigen über sich regelmässig eine Einsenkung der Schleimhaut, die man nicht mit einer Drüsenmündung verwechseln darf.

Die spärliche mucinhaltige Absonderungsflüssigkeit der LIEBERKÜHN'schen Drüsen und der Epithelzellen des Darms hat man als Darmsaft oder Darmschleim bezeichnet. Die Art der Einwirkung des Nervensystems auf den Absonderungsvorgang hat man noch nicht sicher nachweisen können. Wahrscheinlich sind es, wie wir auch bei der Magensecretion vermutheten, zunächst die Ganglienzellen des Darmes selbst, welche die Absonderung anregen.

Durch electrische Nervenreizung, z. B. des Vagus, sah man bisher keine Sekretion eintreten. Dagegen bringen mechanische oder chemische Reize, z. B. durch 0,1 % Salzsäure, oder electrische Reize durch Inductionsschläge direct auf die Schleimhaut selbst einwirkend ziemlich reichliche Sekretion hervor, hiebei röthet sich die Darmschleimhaut durch gesteigerte Blutzufuhr (SCHIFF). Normal scheint die abgesonderte Darmschleimmenge sehr gering (THIRY).

Um reinen Darmsaft zu gewinnen, wird bei einem hungernden Hund ein 1—15 cm langes Darmstück aus dem ganzen Darme so ausgeschnitten, dass es mit seinen Blutgefässen, Bauchfell, Nerven etc. in normaler Verbindung bleibt. Die beiden Enden des durchschnittenen Gesamtdarmes werden vereinigt durch Darmnaht, so dass der Zusammenhang des Darmrohres wieder hergestellt ist, welches nur um das ausgeschnittene Stück sich verkürzt findet. Letzteres wird an dem einen Ende, durch Nath geschlossen, vollkommen wieder in die Bauchhöhle herein gebracht, das andere offene Ende als Fistelöffnung an die Bauchwände befestigt. Nach der Heilung bleibt die Darmfistel bestehen, durch welche man in das ausgeschnittene, nun blind endende Darmstück gelangen kann (THIRY).

3 □ cm Darmoberfläche secerniren nach THIRY in einer Stunde 4 Gramm Saft. Der ganze Darm des Hundes, der etwa 239 cm lang ist, würde danach in 5 Verdauungsstunden 360 Gramm Saft absondern können; doch übersteigt diese Zahl wahrscheinlich die wirklich abgesonderte Grösse nicht unbedeutend, da an eine während so langer Zeit fortgehende ununterbrochene Sekretion kaum zu denken ist.

Der Saft aus solchen Darmfisteln ist bei Hunden dünnflüssig, hellgelb gefärbt, stark alkalisch und entwickelt mit Säuren Kohlensäure. Sein specifisches Gewicht ist im Mittel 1,0107. Er besitzt 2,5 % feste Bestandtheile davon:

Eiweiss 0,8013
sonstige organische Stoffe . 0,7337
Asche . . . . 0,8789, davon kohlensaures Natron 0,315—0,337 %

Albini fand, dass diese ausgeschalteten Darmstücke atrophiren, worauf sich die geringe Wirksamkeit ihres Saftes beziehen mag.

Untersucht man den Schleiminhalt des Darmes nach dem Tode, nachdem sich alle Epithelzellen stark mit Wasser imbibirt haben, so zeigen sich in ihm stets abgestossene Epithelzellen in reicher Menge, auch Schleimkörperchen. Offenbar betheiligt sich auch die Oberfläche des Darmes an der Bildung des Schleimes, so dass die Lieberkühn'schen Drüsen als Oberflächenvermehrung der Schleimhaut durch Einstülpung zu betrachten sind. Die Schleimbildung beruht auf einer Mucinmetamorphose des Cylinderzelleninhaltes.

Die Angaben über die physiologische Wirksamkeit des Dünndarmsekrets sind noch vielfach widersprechend. Einige Experimentatoren hatten offenbar keinen Darmsaft, sondern ein pathologisches Transsudat vor sich.

Der **Dünndarmsaft wirkt,** wenn wir die verschiedenen Angaben zusammenfassen, bei alkalischer Reaction verdauend auf Fibrin (Thiry u. A.), Albumin (Masloff), frisches Caseïn, gekochte und frische Muskelsubstanz, vegetabilische Albuminate (Kölliker, Schiff u. A.). Es entstehen dabei wahre Peptone (Leube). Der Darmsaft verwandelt Stärke in Zucker (Schiff u. A.), Rohrzucker in Traubenzucker (Leube u. A.). Oele werden emulgirt (Schiff). Die Dünndarmschleimhaut enthält diastatisches Ferment, Trypsin und Pepsin (Kühne).

Auch der **Dickdarmschleimhaut** hat man noch verdauende Wirkungen zugeschrieben. M. Markwald experimentirte an einem im übrigen gesunden Menschen, welcher einen Anus präternaturalis am Dünndarme besass, wobei der ganze Dickdarm vollkommen vom Dünndarm getrennt war. Er konnte wahre Verdauung im Dickdarm nicht nachweisen. Stärke wurde nicht in Zucker umgewandelt, Fibrin und geronnenes Eiweiss wurden zwar gelöst aber unter starker Betheiligung von Spaltpilzen, es entstand Pepton, Tyrosin und Indol, so dass der Vorgang als eine Art von Fäulniss erscheint. Auch B. Demant beobachtete in einem ähnlichen Fall nur Einwirkung auf Amylum, Rohrzucker und Fette, kein Pepsin. Der Dickdarm resorbirt Flüssigkeiten langsam und in geringer Menge, mit dem Wasser werden gelöste Stoffe (auch etwas Pepton) aufgenommen, nicht aber flüssiges Hühnereiweiss. Dagegen fand Kühne auch in der Dickdarmschleimhaut die Fermente der Dünndarmschleimhaut, wenn auch in geringeren Mengen.

Hoppe-Seyler ist geneigt, die Absonderung eines eigentlichen Darmsaftes vollkommen zu leugnen, und meint, dass sich all die angegebenen Versuchsresultate erklären lassen durch Anhaften und Infiltration von Verdauungsfermenten in die Darmschleimhaut aus den Sekreten anderer Drüsen, namentlich des Pankreas. — Mit Rücksicht auf ärztliche Erfahrungen über Darmausscheidungen in Krankheiten scheint die Beobachtung A. Moreau's von Wichtigkeit, dass in gelähmte Darmstücke, d. h. in solche, deren Nerven durchschnitten wurden, sich ein sehr reichliches, eiweisshaltiges, alkalisches Transsudat ergiesst.

Historisches über den Darmsaft. — Aeltere Versuche über den Darmsaft hatten es mit gemischten Sekreten zu thun. Frerichs suchte sich reinen Darmsaft zu verschaffen durch Abbinden eines vorher vorsichtig ausgedrückten Darmstücks, auf welche Weise er ziemliche Mengen einer zähen Flüssigkeit aus dem Darm erhielt. Zander (Bidder und Schmidt 1851) brachte bei Hunden in den oberhalb auf einen Kork abgebundenen Dünndarm, um den Zufluss der übrigen in den Darm ergossenen Drüsensäfte abzuhalten, in einem Tüllbeutel die zu verdauenden Stoffe: geronnenes Eiweiss und Fleischstückchen, Stärkekleister. Die Darm-

schlingen wurden dann wieder in die Bauchhöhle zurückgebracht. Nach einiger Zeit herausgenommen zeigte sich aus Stärkemehl Zucker gebildet und vom Eiweiss 6,5 %, vom Fleische 7,2 % gelöst. KÖLLIKER und H. MÜLLER fanden bei analogem Versuche an einer Katze nach 18 Stunden nur noch 10 % des eingeführten geronnenen Eiweisses wieder. BUSCH sah Eiweissstückchen, welche aus dem Magenende einer Darmfistel beim Menschen unverdaut hervortraten, im Dickdarm noch verdaut werden.

THIRY, PASCHUTIN u. A. fanden die genannten verdauenden Wirkungen nicht. Der Saft vermochte nur Fibrin zu lösen, wenn seine Reaktion alkalisch gehalten wird. Diese Lösung beruht auf Anwesenheit eines Fermentes, das sich in ähnlicher Weise wie das Pepsin isoliren lässt: v. WITTICH stellte das diastatische, zuckerbildende Ferment dar, ebenso PASCHUTIN.

Die Eiweiss verdauende Wirkung des Dünndarmes ist in der Nähe des Pylorus am grossten. Dort stehen die BRUNNER'schen Drüsen. KROLOW fand ihr Sekret beim Schwein alkalisch und sah letzteres Stärke in Zucker umwandeln und Fibrin auflösen. Die Drüsen, welche nach ihrem Entdecker BRUNNER benannt werden, wurden schon 1686 entdeckt, von MIDDELDORFF 1846 zuerst genau untersucht. Bei Kaninchen finden sich in jener Gegend dem Pankreas ähnliche Drüschen im Darm (BERNARD). Hier und da auch bei anderen Thieren und beim Menschen.

Zur vergleichenden Anatomie. — Die Schleimhaut des Darmes zeigt bei Säugethieren und Vögeln deutliche Zotten, auch manchen Fischen fehlen sie nicht. Die Darmschleimhaut der meisten Fische und Reptilien besitzt Leistchen und Fältchen, die sich öfters netzartig mit einander verbinden, wodurch drüsenähnliche Hohlräume (makroskopische) entstehen, z. B. beim Frosch. Das Epithel im Darm der Wirbelthiere ist meist, wie im Magen, Cylinderepithel. Der Enddarm von Rochen und Haien sowie die Kloake der Vögel trägt Plattenepithel (LEYDIG). Bei Säugern und Vögeln finden sich in der Schleimhaut des Darmes sehr konstant die LIEBERKÜHN'schen Drüsen, bei den Fischen und Reptilien (mit Amphibien) werden sie durch die oben genannten makroskopischen Bildungen der Schleimhaut ersetzt (LEYDIG). Bei Säugethieren und einigen Fischen finden sich überdies BRÜNNER'sche Drüsen, die sich am zahlreichsten im Duodenum der Pflanzenfresser finden. Bei Chimären, Rochen und Haien finden sich die analogen Drüsen am entgegengesetzten Darmende (LEYDIG), »fingerförmige Drüse«. Vögeln, Reptilien und den meisten Fischen fehlen sie ganz. Die PEYER'schen Follikel finden sich bei den Vögeln durch den ganzen Darm zerstreut. Die Muskularis des Darms ist bei der Schleie (Tinca chrysitis) ganz und bei Cobitis fossilis grossentheils quergestreift, in der Schleimhaut finden sich ausserdem noch glatte Fasern.

Bei den niedersten Wirbellosen, bei Infusorien, wo eine Mundöffnung ins Innere leitet, mangelt öfters noch ein von der Körpersubstanz erkennbar geschiedener Darm, dieser repräsentirt nur eine canalartige Lücke. Bei der Ernährung einzelliger Thiere und contractiler Zellen giessen sich die Protoplasmamassen um das zu ergreifende Körnchen herum oder dieses wird, an ausgesendete Fortsätze geklebt, mit diesen in das Innere des Leibes hineingezogen. Unter den Infusorien findet sich bei Trachelius ovum ein baumförmig verzweigter Canal im Innern, der den Darmcanal vorstellt (EHRENBERG u. A.). Bei anderen Infusorien ist Ein- und Ausgang der Darmhöhle öfters deutlicher durch eine Grenzmembran abgegrenzt, oder wie man gewöhnlich zu sagen pflegt, ein unten offener Oesophagus hängt in die grosse Verdauungshöhle hinein. In manchen Fällen verdickt sich auch die Grenzmembran an der Mundöffnung zu haarähnlichen Bildungen (LEYDIG), wodurch z. B. der fischreusenähnliche Cylinder in dem Munde von Prorodon, Amphileptus anser gebildet werden. Bei den Süsswasserpolypen, bei denen der Körper schon deutlich aus Zellen besteht, ist der Magen und Darmcanal nur durch eine innere Höhlung begrenzt von denselben contractilen Zellen, die den übrigen Polypenleib zusammensetzen. Bei Würmern, Strahlthieren, Mollusken und Arthropoden haben wir dagegen schon denselben Bauplan des Tractus wie bei den Wirbelthieren, bindegewebiges Schleimhautstratum (Tunica propria), innen mit Epithel, aussen mit einer Muscularis überkleidet, die äusserlich öfters schon von einem Analogon der Serosa überzogen wird. Die Epithelien des Verdauungscanales wimpern entweder

vollständig oder theilweise. Die Form der Zellen wechselt von kleinen rundlichen Bläschen bis zu enorm langen cylindrischen Zellen im Darm der Gasteropoden, Insecten, Krebse. Die Cuticularbildungen an der Oberfläche der Zellen bilden sich hier und da zu festen, abziehbaren Häutchen aus, so im Magen von Paludina vivipara (Leydig). Die Cuticula verdickt sich ferner lokal zu zahnartigen Kauapparaten, wie die Zungenplatten und Kiefertheile der Schnecken, Tintenfische und Würmer (Zähne der Egel, Kauapparat der Kiemenwürmer), zu den Magenzähnen der Aplysia und den Hornplatten im Magen anderer Mollusken. Die Magenzähne im Kaumagen von Oniscus, Porcellio erlangen eine grössere Härte durch Einlagerung von Kalk in die Cuticularsubstanz. Bei den Cephalopoden sollen schlauchförmige Drüsen im Darm vorkommen, zottenartige Hervorragungen von der Dignität der Drüsen (Bergmann und Leuckart) finden sich in der Magenschleimhaut vieler Insecten. Im Chylusmagen bei Pentatoma findet sich ein Abschnitt, in welchen vier Reihen eng mit einander verbundener Drüsenreihen einmünden (v. Siebold). Grössere blindsackartige Anhänge finden sich wohl meist von der Dignität der Drüsen bei einer Anzahl von Wirbellosen, z. B. der Blindsack am Magenausgang der Cephalopoden. Einerseits fehlt bei einigen die Muscularis des Darms, andererseits ist sie bei Insecten, Spinnen und Krebsen meist quergestreift. Die Serosa des Darms flimmert bei den Bryozoen und Echinodermen, sowie bei Aphrodite aculeata. Die Stelle des Mesenteriums vertritt bei den Insecten der Fettkörper (Leydig).

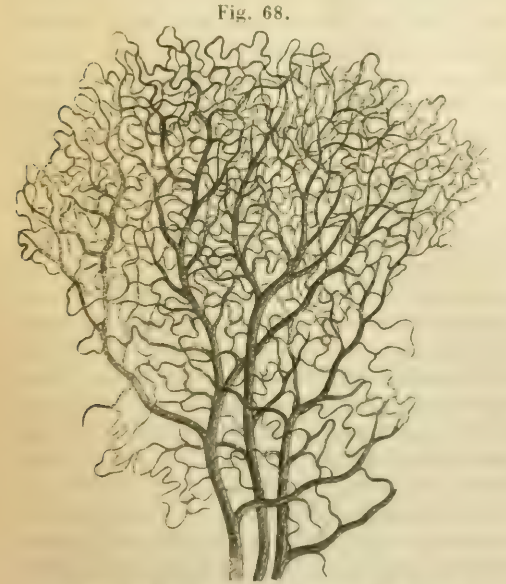
Ueber Entwickelungsgeschichte des Darms vergleiche man bei Magen.

Zur ärztlichen Untersuchung vergleiche man unten bei Koth.

Pankreas.

Das wichtigste Sekret, das sich in den Dünndarm ergiesst, ist das der Bauchspeicheldrüse, des Pankreas.

Fig. 68.



Gefässe des Pankreas des Kaninchens. Vergr. 45.

Das Pankreas ist wie die Speicheldrüsen eine zusammengesetzte traubenförmige Drüse. Ihre Lappen und Läppchen lösen sich in mikroskopische Drüsenbläschen auf, welche eine Membrana propria besitzen, und im Innern mit Pflasterzellen ausgekleidet sind, welche sich durch den Fettreichthum ihres Inhaltes auszeichnen. Die Ausführungsgänge der Bläschen sowie der Hauptausführungsgang der Drüse: der Ductus Wirsungianus, besitzen Cylinderepithel. An seinen Wänden sitzen kleine Drüschen an, welche im Bau und möglicherweise auch in der Function mit der Bauchspeicheldrüse übereinstimmen. E. H. Weber, Langerhans, Pflüger, Ewald und Giannuzzi geben an, dass in den Acinis des Pankreas ein System äusserst feiner Canälchen existire, welche die einzelnen sekretorischen Elemente des Acinus umspinnen. Die Maschen

dieses Netzes umspannen 1—5 Drüsenzellen. Der Uebergang der feineren in die weiteren Ausführungsgänge geschieht häufig ganz plötzlich. Das Verhalten der feinsten Gänge scheint denen zwischen den Leberzellen analog. Ausser dem WIRSUNG'schen Gange besitzt die Drüse noch einen kleineren Ausführungscanal, der, aus dem Kopfe der Drüse entspringend, nachdem er sich mit dem Hauptgange durch einen Seitencanal verbunden, entweder über oder unter der Einmündungsstelle desselben seinen Inhalt in den Darm ergiesst. Bei Unterbindungsversuchen des Pankreasausführungsganges zum Zwecke, sein Sekret von der Darmverdauung auszuschliessen, müssen sowohl dieser zweite Gang wie die von BERNARD beschriebenen kleinen Nebendrüsen des Pankreas berücksichtigt werden, welche sich nach KLOB auch beim Menschen finden. Nach ZENKER sitzen sie stets in der Darmwand selbst. Die zahlreichen Blutgefässe des Pankreas stimmen in ihrer Verbreitung nahe mit denen der Speicheldrüsen überein (Fig. 68). Die sehr reichlichen Nervenstämme vom Sympathicus treten an den feinen Ausführungsgängen in zahlreiche Ganglien. PFLÜGER fand viele markhaltige Nervenfasern im Pankreas, die in den ausgebildeten Alveolen desselben ähnlich endigen, wie in denen der Speicheldrüsen (cf. S. 260).

Wenig ist über den Nerveneinfluss auf die Bauchspeichel-Absonderung bekannt. Sie tritt etwa 5—6 Stunden nach der Nahrungsaufnahme ein. Sie scheint durch sensible Reize der Magenschleimhaut (z. B. Aether) reflectorisch angeregt zu werden. Nahrungsaufnahme steigert sie, am bedeutendsten eiweissreiche Nahrung. Nach beendigter Verdauung fand BERNARD den WIRSUNG'schen Gang leer. Wie alle arbeitenden Organe zeigt sie bei ihrer Thätigkeit in der Verdauung einen gesteigerten Blutzufluss. Während sie im nüchternen Zustande schlaff und weisslich ist, schwillt sie während der Verdauung an und bekommt von den gefüllten Gefässen ein rothes Ansehen. Es geht daraus hervor, dass das Rohmaterial für die Drüsenabsonderung vom Blute geliefert wird; es unterliegt aber keinem Zweifel, dass auch hier die Drüsenzellen es sind, welche das an sich indifferente Material zu dem eigenthümlichen Drüsensekrete verarbeiten. Reizung des centralen Vagusendes soll (nach LUDWIG und BERNSTEIN) die Sekretion aufheben, ebenso Erbrechen (BERNARD). Nach Durchschneiden der Gefässnerven scheint eine paralytische Sekretion einzutreten. R. HEIDENHAIN will vom verlängerten Mark aus die »Wasserabsonderung« der Drüse beeinflusst haben. KÜHNE und LEA konnten die Sekretion durch Inductionsschläge, sowie durch Injectionen von Blut und Chylus anregen.

Die Drüsenzellen zeigen nach den Angaben von LANGERHANS und R. HEIDENHAIN mikroskopisch nachweisbare Veränderungen während ihrer Thätigkeit. Letzterer unterscheidet an den Drüsenzellen eine körnige Innenzone (BERNARD'sche Körnchen) und eine homogene Aussenzone (LANGERHANS unterscheidet noch eine mittlere: Kernzone). Im Hungerzustande überwiegt die erstere die letztere beträchtlich. Bei lebhafter Absonderung verkleinert sich die gesammte Zelle, dabei vermindert sich die körnige Innenzone, während die Aussenzone sich vergrössert. Sinkt die Absonderung, so vergrössert sich die Zelle wieder, die Körnchenzone nimmt wieder zu, die Aussenzone ab. HEIDENHAIN deutet diese Bilder auf Verbrauch und Ansatz der betreffenden, die Zonen bildenden Sub-

stanzen. Die Beobachtungen Kühne's mit A. Sh. Lea bestätigen diese Angaben insofern, als auch die Genannten die Bernard'schen Körnchen nach dem Drüsenlumen hin sich verschieben, bei langdauernder Sekretion kleiner und matter werden und endlich verschwinden sahen. Das fertige Pankreassekret tritt an der dem Drüsenlumen zugewendeten Fläche aus, hier wirkt es verdauend schon in den Drüsenschläuchen auf Eiweisskörper, niemals aber zwischen den Zellen selbst. In Beziehung auf die Gestalt und Grössenverhältnisse der ruhenden und absondernden Zellen weichen Kühne und Langerhans von Heidenhain wesentlich ab: die ruhenden Drüsenschläuche (das Kaninchenpankreas) sind aussen stets berandet, die ruhenden Drüsenzellen (hungernder Thiere) dagegen schlecht von einander abgegrenzt; wird die Drüse thätig, so zeigen die Drüsenschläuche deutliche Wölbungen und Einkerbungen, welche der Zahl der darunter liegenden Sekretionszellen entsprechen, welche also offenbar vergrössert sind, die Zellen sind von einander durch kräftige, meist doppelte Linien gesondert und zeigen deutlicher als in der Ruhe eine feine Strichelung von der Basis nach der Spitze der Kegel gerichtet.

Der Bauchspeichel.

Nach den Beobachtungen von Bidder und Schmidt und Cl. Bernard ist der Bauchspeichel, welcher aus frisch bei einem Hunde angelegten Fisteln des Wirsung'schen Ganges gewonnen wird, eine stark klebrige Flüssigkeit, ohne morphologische Bestandtheile, klar, farblos, alkalisch, von salzigem Geschmack. Die festen Bestandtheile betragen zwischen 10—12%. Die Natronsalze überwiegen in der Asche ähnlich wie in der des Blutserums.

Nach einer Analyse Schmidt's betrugen die festen Stoffe im Pankreassafte zusammen 9,9%: die Asche 8,54 pro mille, davon: schwefelsaures Kali 0,02, schwefelsaures Natron 0,10, Chlornatrium 7,36, phosphorsaures Natron 0,45, Natron 0,32, Kalk 0,22, Magnesia 0,05, Eisenoxyd 0,02; es waren also von den 8,54 pr. m. nur 0,31 pr. m. andere Substanzen als Natronverbindungen. Der Saft gibt alle Reaktionen einer alkalischen Lösung der Eiweissstoffe. Daneben enthält er auch durch Essigsäure fällbares Kalialbuminat. Er coagulirt durch Erhitzen. (Ueber seine Fermente cf. unten.)

Ludwig und Weinmann haben an Saft aus permanent bestehenden Fisteln eine weit geringere Concentration beobachtet, nur etwa 5% im Mittel feste Stoffe und dem entsprechend auch einen geringeren Gehalt an Salzen. Ludwig fand, dass die Concentration des Bauchspeichels mit der zunehmenden Absonderungsgrösse in der Zeit abnimmt, je mehr und länger Saft abgesondert wird, desto weniger feste Stoffe enthält er. Das Verhalten ist sonach ganz analog wie bei der Sekretion der Speicheldrüsen (cf. oben S. 267). Die Verschiedenheiten in der Saftconcentration an temporären und permanenten Fisteln ist eine vollkommen regelmässige Erscheinung.

Legt man eine Pankreasfistel 5—9 Stunden nach reichlicher Nahrungsaufnahme an, so zeigt sich der ausfliessende Saft zähflüssig. Es hängt dieses, wie es scheint, mit der oben erwähnten Röthung der Drüse durch die gesteigerte Blutzufuhr zusammen. Denn aus der blassen Drüse erhält man aus Fisteln, die nach der 9. Stunde nach der Nahrungsaufnahme angelegt wurden, stets nur einen dünnflüssigen Saft, der aber auch durch eingenommene Nahrung niemals die erwähnte dickliche Beschaffenheit des normalen Bauchspeichels erhält;

man behauptet, dass die Druse mit einer permanenten Fistel sich nicht mehr röthe. Der dunne Saft zeigt nicht alle die specifischen Wirkungen des dickflussigen.

Die Menge des Pankreassekretes beträgt bei einem 20 Kilogramm schweren Hunde während 24 Stunden etwa 45 Gramm. Nach BIDDER und SCHMIDT's Rechnung vom Hund auf die Absonderung bei dem Menschen soll die Absonderung bei 64 Kilogramm Mittelgewicht etwa 150 Gramm Bauchspeichel mit 15 Gramm festen Stoffen betragen. Es scheint diese Angabe zu hoch, da nach BERNARD die Drüse nur während der Verdauung starker absondert. Eine Kuh von mittlerer Grösse gab 273 Gramm Saft in der Stunde, etwa ebensoviel ein Pferd, während ein Schwein nur 12—15 gab (COLIN). Aus permanenten Fisteln bei Hunden ist die abfliessende Saftmenge viel grösser. So erhielt SCHMIDT in einer Stunde bis zu 5,03 Gramm auf 1 Kilogramm Thier, woraus sich für den Menschen von 70 Kilogramm im Tage 4225 Gramm Bauchspeichel berechnen würden.

Chemie der Pankreasdrüse. — Im Gewebssaft des Pankreas finden sich, natürlich theilweise aus dem in den Ausfuhrungsgängen enthaltenen Sekrete stammend: Wasser, lösliches Albumin, Leucin, Tyrosin, Guanin, Xanthin, Milchsäure, flüchtige Fettsäuren, Inosit (?), Fette, anorganische Salze. Das Leucin und Tyrosin (VIRCHOW) findet sich in der Bauchspeicheldrüse in reichlicherer Menge als in irgend einem anderen drüsigen Organe. Aus Pankreas vom Ochsen erhielt SCHERER 1,77 % der feuchten Drüse Leucin. Es ist auch in der frischen lebenden Drüse enthalten, wie derselbe Forscher nachweisen konnte. Das Tyrosin kommt in ihr in weit geringerer Menge vor. KÜHNE erklärt Leucin und Tyrosin für Produkte der Selbstverdauung der Drüse, resp. des Drusensekrets. Die grösste Menge der organischen Stoffe besteht aus Eiweiss und Fetten. Nach E. BISCHOFF betrug der Gehalt eines Pankreas von einem Hingerichteten an festen Stoffen: 17,386 %, an Wasser: 82,613 %. OIDMANN fand 25 % feste Stoffe.

Wirkung des Bauchspeichels.

Das Sekret der Bauchspeicheldrüse enthält drei Fermente: ein diastatisches (Zucker-bildendes), ein peptisches (Pepton-bildendes und das gebildete Pepton weiter in Leucin und Tyrosin zersetzendes) Pankreatin oder Trypsin (KÜHNE) und ein die neutralen Fette unter Hydration in Fettsäuren und Glycerin zerlegendes.

Die Functionen des pankreatischen Sekretes bestehen sonach in:

1) Umwandlung von Stärkemehl in Zucker,
2) Verdauung der Eiweisssubstanzen zu Pepton (und weiterer Zerlegung desselben in Leucin und Tyrosin und andere Zersetzungsprodukte, namentlich Indol) und in
3) Vorbereitung des Fettes zur Aufnahme in die Säftemasse des Organismus.

Die Fähigkeit der Umwandlung der Stärke in Zucker besitzt der Bauchspeichel in noch weit höherem Maasse als der Mundspeichel (VALENTIN, CL. BERNARD). Durch den Bauchspeichel wird nicht nur gekochte, sondern auch rohe Stärke verdaut. Bei 35° C. ist die Wirkung fast momentan, bei niederer Temperatur immer noch sehr rasch. Alle Einflüsse, die wir hindernd oder befördernd auf die Mundspeichelwirkung fanden, haben die gleiche Wirkung auf das Pankreassekret. Nach BIDDER und SCHMIDT geht dessen Zuckerbildung fort, unbeeinträchtigt von der Anwesenheit von Galle und saurem Magensaft. Das Zucker- bildende Pankreasferment scheint mit der Speicheldiastase identisch.

In Beziehung auf die Bildung von Zucker aus Dextrin (Achroodextrin)

übertrifft das diastatische Pankreasferment das des Speichels. Rohrzucker und Inulin werden durch den Pankreassaft nicht verändert.

Das Zuckerbildungsvermögen kann das Pankreas bei den Carnivoren, wenigstens im wilden Zustande, in welchem sie keine stärkemehlhaltige Nahrung geniessen, nicht bethätigen, trotzdem findet sich die Drüse auch bei ihnen in bedeutender Grössenentwickelung vor, zum Beweise, dass ihre zweite, zuerst von CORVISART konstatirte Function: die Verdauung von Eiweisskörpern in alkalischer Lösung an Wichtigkeit der erstgenannten nicht nachsteht.

In der Drüsenzelle soll das Pankreatin nach R. HEIDENHAIN nicht fertig gebildet enthalten sein, sondern nur eine hypothetische Muttersubstanz desselben: Zymogen, welches eine Verbindung des Pankreatins mit einem Eiweissstoff sein soll.

Es ist schwer, bei den Verdauungsversuchen mit künstlichem Pankreassaft (Drüsenauszug) den Eintritt von Fäulniss zu vermeiden, wodurch die bisher gewonnenen Resultate theilweise in ihrem Werthe wesentlich beeinträchtigt werden, da die bei der Fäulniss entstehenden Stoffe zum Theil den bei Pankreasverdauung gebildeten gleich sind.

Die Befähigung des Bauchspeichels zur Eiweissverdauung war lange Gegenstand der Kontroverse, der eine Autor konnte sie bestätigen, der andere fand an Stelle der beschriebenen Verdauungsvorgänge nur Fäulniss. Die neueren Untersuchungen, zunächst die von MEISSNER, haben über allen Zweifel erhoben, dass durch Einwirkung von Pankreas-Extrakt die Ueberführung der Eiweissstoffe in Peptone gelingt, aber nur dann, wenn das zu dem Versuche verwendete Pankreas von einem während der Pankreas-Verdauung geschlachteten Thiere stammt. Wie sich SCHIFF ausdrückt, ist nur während der Verdauung das Pankreas mit seinen Fermenten »geladen«. Nach SCHIFF wäre die Anwesenheit des Dextrins in der aufgenommenen Nahrung eines der Anregungsmittel, wie er dasselbe auch bei der Pepsinladung des Magens annimmt. SCHIFF gab an, dass nach Ausrottung der Milz der Pankreassaft oder das Infus der Drüse die Eiweiss-verdauenden Eigenschaften für immer einbüsst. A. HERZEN vermuthete, dass die Milz während ihrer »Dilatation« in der Verdauungsperiode ein das Pankreatin frei und wirksam machendes Ferment bilde. Er machte folgendes seine Annahme stützendes Experiment. Da bei hungernden Thieren das Pankreas keine Eiweissverdauenden Wirkungen besitzt, setzte er mit dem Pankreas eines 24 Stunden nüchternen Hundes drei Eiweissverdauungsversuche an: 1) Pankreas des nüchternen Hundes allein verdaut nichts; 2) dasselbe mit der Milz desselben Hundes verdaut nichts; 3) dasselbe mit der Milz eines in der 7. Stunde der Verdauung getödteten anderen Hundes verdaut Alles.

Nach MEISSNER's Versuchen sollten nur in schwachsauren Flüssigkeiten die Eiweisskorper ohne vorausgehende Parapeptonbildung zu Peptonen, und zwar zu denselben wie durch die Einwirkung des Magensaftes sich lösen. (KÜHNE spricht von einem Antipepton.) Andere, besonders CORVISART, sahen die Lösung auch in schwach alkalischen oder neutralen Flüssigkeiten eintreten. Nach CORVISART löst der Pankreassaft auch leimgebendes Bindegewebe und Leim zu einer nicht mehr gelatinirenden Flüssigkeit. Nach KÜHNE das erstere nur dann, wenn es vorher über 70° erhitzt oder mit Säuren behandelt wurde. Das von NENCKI gefundene Glycocoll erklärt W. KÜHNE als durch Fäulniss (Bacterien) gebildet. Normale Pankreasverdauung bilde es ebensowenig als Leucin und Leim, Knorpel und Chondrin werden rasch gelöst, ebenso die übrigen von Pepsin angegriffenen Gewebe. Neuerdings behauptet man, dass die Eiweissverdauung durch Bauchspeichel nur bei alkalischer Reaktion erfolge und zwar ohne vorhergehendes Aufquellen der verdauten Substanzen (DANILEWSKY). Wie durch Pepsin so wird auch durch das Trypsin Oxyhämoglobin unter Abspaltung von Hämatin zersetzt und verdaut, dagegen behauptet HOPPE-SEYLER, dass sauerstofffreies Hämoglobin durch dieses Ferment ebensowenig wie durch Fäulniss zerstört werde.

Nach VOIT verwandelt Pankreassaft und Magensaft (!) arabisches Gummi in Zucker. — Ueber Indol und Indigo cf. S. 88/89. KÜHNE erklärt die Indolbildung aus Eiweissstoffen

lediglich als eine Bacterienwirkung = Faulniss. — Bei der Pankreas-Verdauung von Fibrin und Kleber entsteht Asparaginsäure SALKOWSKI u. A. cfr. bei Harnstoff.

Da BERNARD auch eine Einwirkung des Bauchspeichels auf die Fettverdauung entdeckte, so machte er das Pankreas zum Faktotum der Verdauung.

Die Behauptung BERNARD's stützt sich zunächst darauf, dass jeder Bauchspeichel, mit flüssigem Fett geschüttelt, eine ausnehmend feine Emulsion, Fettstaub, bildet, aus der sich die minimalen Fetttröpfchen nicht wieder abscheiden. Diese Tröpfchen sind so fein, dass man annehmen kann, dass sie als solche von dem Darm durch die Gewebslücken aufgenommen werden können.

Die Frage, wie das Fett in die Lymphgefässe hereingelange, durch die mit Wasser getränkten Gewebe, mit denen es sich ebenso wenig mischt, wie ein Oeltropfen in ein mit Wasser befeuchtetes Papier eindringt, hat zahllose Untersuchungen hervorgerufen. Man kann sich denken, dass, wenn die Fetttröpfchen möglichst klein sind, sie durch die feinen Porenöffnungen der Zellen des Darmes, welch' letztere BRÜCKE ohne geschlossene Zellmembran an der Darmoberfläche beschreibt, eintreten könnten. In dieser Hinsicht erscheint also das Emulsionsvermögen des Bauchspeichels von Wichtigkeit. Man hat gezeigt, dass auch die Galle und der Darmsaft wie alle dünnflüssigen Sekrete dieses Vermögen theilen, doch scheinen die von ihnen zertheilten Fetttröpfchen nicht so klein, wie die durch Pankreassekret erzeugten zu werden.

Man könnte sich andererseits vorstellen, dass das Fett, um aufgenommen zu werden, in eine mit Wasser mischbare Modification, z. B. Seife, übergeführt werden könnte, welche die Gewebe durchsetzt und sich in der Lymphbahn, wo sich wahres Fett findet, erst wieder in Fett umwandelte. BERNARD hat gefunden, dass die Substanz der Bauchspeicheldrüse, auch der blassen (EBERLE), und das Sekret derselben die neutralen Fette zerlegt unter Bildung von Fettsäuren, so dass also Gelegenheit zu einer Verseifung der Fette gegeben ist, wodurch sie das geforderte Vermögen, mit Wasser sich zu mischen, erhalten würden. Doch werden die Fette der Hauptmasse nach unzerlegt resorbirt (BRÜCKE). Indem aber die Fettsäuren durch das Pankreassekret in Seifen umgewandelt werden, deren Eigenschaft es ist, sich gleichzeitig mit Fett und Wasser zu mischen, so müssen diese Seifen ganz in derselben Weise die Fettaufnahme im Darm ermöglichen, wie wir das von der Galle noch erfahren werden. Indem die Seifenlösungen die Darmschleimhaut und ihre Poren durchtränken, ermöglichen sie dem Fett den Durchtritt durch diese Hautschicht (cf. Galle). Die Wirkung des Pankreassaftes ist sonach, indem er aus einem Theil des Fettes Seifen bildet, der Wirkung der Galle für die Fettaufnahme im Darm analog. Die Seifen emulsioniren auch das Fett (BRÜCKE).

Durch Zerstörungen des Pankreas an lebenden Thieren suchte BERNARD die Annahme zu stützen, dass der Bauchspeichel zur Fettverdauung unumgänglich erforderlich sei. Andere Autoren konnten die für seine Ansicht positiven Resultate nicht bestätigen, sie wollten nur grössere Gefrässigkeit bei den operirten Thieren beobachtet haben. Auch SCHIFF hat mit negativem Erfolg das Pankreas durch Paraffininjectionen zerstört, die Hunde verdauten vollkommen. BERNARD machte dagegen auf die möglichen Fehler bei den Versuchen aufmerksam: der zweite Gang der Drüse, der nach Unterbindung des Hauptganges noch Saft in den Darm führen konnte, die Nebenpankreasdrüsen, die nach der Zerstörung des Hauptorganes

noch fort functioniren. Wir kommen bei der Frage nach der Resorption auf die Pankreaswirkung zurück.

Den künstlichen Pankreassaft erhält man durch Glycerinauszüge der Drüsensubstanz v. WITTICH am besten von Hunden, die man in der Zeit der Pankreasthätigkeit (am besten 5—6 Stunden nach der Nahrungsaufnahme) geschlachtet hat. Ausser dieser Zeit ist der Drüsenaufguss theilweise unwirksam. PASCHUTIN gelang es, die drei Pankreasfermente durch Filtration der Lösung derselben (in Wasser oder concentrirten Salzlösungen) durch Thonzellen zu trennen, v. WITTICH und COHNHEIM stellten das diastatische und das peptische Ferment auf andere Weise dar.

Historische Bemerkungen. — Schon 1662 fing REGNER DE GRAAFF den pankreatischen Saft des Hundes auf, den er klar und wenig klebrig fand. Er war dazu veranlasst worden durch die Behauptung seines Meisters F. SYLVIUS (DE LA BOË), dass der Pankreassaft eine Säure sei, welche, das Alkali der Galle sättigend, ein »Aufbrausen« bewirken musste, eine Erscheinung, die man damals als eine sowohl in der lebenden als todten Natur hauptsächlich wirkende Kraft (Gährung) betrachtete. MAYER und MAGENDIE untersuchten den Saft genauer, ebenso TIEDEMANN und GMELIN: sie fanden ihn alkalisch, reich an festen Bestandtheilen und gerinnbar in der Hitze. LEURET und LASSAIGNE fanden ihn alkalisch und dem Mundspeichel ähnlich. VALENTIN beschreibt zuerst, dass der Bauchspeichel die Eigenschaft besitzt, Stärkemehl schnell in Zucker umzuwandeln. EBERLE beobachtete vor BERNARD die Eigenschaft des Bauchspeichels, mit Fetten feine Emulsionen zu bilden. BERNARD's Untersuchungen über den Bauchspeichel waren besonders erfolgreich. Er schrieb ihm, trotz früherer negativer Resultate von FRERICHS, BIDDER und SCHMIDT, Wirkung auf Eiweisskörper zu (in Verbindung mit der Galle). CORVISART (1857—58) bewies die Eiweissverdauung durch Pankreassekret, in welchem er ein Ferment: Pankreatin annimmt. In neuester Zeit lernte man die Erfolge der Pankreasverdauung regelmässig hervorbringen (KÜHNE, BERNARD, v. WITTICH u. A.).

Zur Entwickelungsgeschichte. — Bei dem Hühnchen ist (REMAK u. A.) die erste Anlage des Pankreas (65ste Brütstunde, nach SCHENK schon früher) eine kleine solide Wucherung der hinteren Darmwand (Darmplatte) in der Höhe des linken primitiven Lebergangs, mit welcher sich die Epithelialschicht des Darms in Verbindung setzt, indem sich der Pankreaskanal als seitliche Ausstülpung des Darmepithelrohrs (Darmdrüsenblattes) bildet. GÖTTE sah die erste Andeutung der Drüse als eine leichte Ausbuchtung beider Darmwandschichten. Die weitere Entwickelung geschieht nach dem Typus der Entwickelung der Speicheldrüsen. Die Epithelialschicht der Pankreasanlage treibt zunächst solide Sprossen, die in der Folge hohl werden. BISCHOFF sah das Pankreas an einem 15,3 mm langen Rindsembryo als ein gabelförmig getheiltes Stück Drüsencanal. Bei einem andern von 17,4 mm Länge war der Drüsenstamm rundum mit einer Anzahl (12—14) rundlicher Anschwellungen besetzt, so dass das Gebilde einer Dolde glich. KÖLLIKER beobachtete das Pankreas bei einem 4 Wochen alten Menschenembryo. Es war ein weiterer Gang, an den sich ebenfalls schon hohle Nebengängchen (7) ansetzten, die in solide Knospen endigten. Nach BISCHOFF entwickelt sich Bauchspeicheldrüse und Milz aus einer Anfangs vollkommen verschmolzenen Bildungsgrundlage. — Das Zucker-bildende Ferment des Pankreas fehlt den neugeborenen Kindern, gegen den 2. Monat tritt es schwach auf, es steigt dann bis zum ersten Lebensjahre an (KOROWIN, ZWEIFEL), dagegen besitzt das Pankreas sofort nach der Geburt die Fähigkeit zur Eiweissverdauung und Fettzerlegung (ZWEIFEL).

Zur vergleichenden Anatomie und Physiologie. — Die Bauchspeicheldrüse ist meist vielfach gelappt. Bei Amphibien, Reptilien und Vögeln ist sie kompakter, bei Nagern häufig in grössere Lappen getheilt (Maulwurf). Nicht selten kommen zwei Ausführungsgänge vor bei Schildkröten, Krokodilen, Vögeln (Taube und Huhn haben drei), einigen Säugethieren, die getrennt von einander ausmünden; einer verbindet sich dann meist mit dem Ductus hepato-entericus (GEGENBAUR, LEYDIG u. A.). R. HEIDENHAIN hält die Pankreassekretion bei den beständig verdauenden Kaninchen für wahrscheinlich continuirlich, im Maximum werden in der Stunde 0,6—0,7 cc Saft abgesondert, welcher stets weit dünnflüssiger ist, als

bei dem Hunde, feste Stoffe im Mittel: 1,76%. Er enthält die drei bekannten Pankreasfermente, das Eiweiss-lösende in sehr wechselnden Mengen. Den Absonderungsdruck der Drüse bestimmte er zu 219—225 mm Wasser = 16,8—17,3 mm Quecksilber. Bei Hemmung des Ausflusses, z. B. durch Dünndarmkatarrhe, findet sonach ebenso eine Resorption des Pankreassekrets wie der Galle statt. Unterbindung des Ausführungsganges bedingt bei Kaninchen keine wesentlichen Störungen. Der Diabatesstich ist ohne Einfluss auf die Pankreassekretion. Das ebenfalls dünnflüssige und continuirlich abgesonderte Pankreassekret vom Hammel verhält sich dem Kaninchensekret sehr ähnlich, es enthält aber stets reichlich das Eiweiss-verdauende Ferment. Unter den Wirbellosen findet sich bei den Cephalopoden ein deutliches Pankreas. Es besteht bald aus »Blinddärmchen«, bald aus Bäumchen mit traubenförmig anhängenden Endknospen (H. Müller). Hoppe-Seyler erklärt die sogenannten »Lebern« der Krebse für Pankreas nach ihrer physiologisch-chemischen Wirkungsweise (cf. oben Magensaft, S. 294).

Zur ärztlichen Untersuchung. — Im Wirsung'schen Gang kommen hier und da Concremente vor. Lehmann fand ein solches in der Hauptmasse aus geronnenem Albuminat bestehend, ausserdem enthielt es nur wenig kohlensauren und phosphorsauren Kalk. Nach O. Henry und Golding-Bird können die stickstoffhaltigen organischen Bestandtheile hinter die anorganischen zurücktreten (7%—16%). Die Hauptmasse bildet dann phosphorsaurer Kalk (67%—80%), und kohlensaurer Kalk (3%—16%), nebst Spuren von löslichen Salzen. Bei Icterus durch katarrhalische Schwellung der Schleimhaut des Duodenums wird mit dem Gallenausführungsgang auch der Ductus Wirsungianus verschlossen, an den hierbei beobachteten Verdauungsstörungen betheiligt sich sonach auch der Ausfall des Pankreassekrets. Bei Diabetes hat man mehrfach Zerstörung des Pankreas mit Concrementbildung beobachtet. In den ersten Stadien des Fiebers wird Pankreassaft abgesondert, dessen Fermente man im Erbrochenen nicht selten nachweisen kann.

Das Sekret der Brunner'schen Drüsen (S. 300) des Duodenums ist noch nicht genügend bekannt. Nach Budge und Krolow soll der Drüsenauszug ein diastatisches und ein Pepton-bildendes Ferment (?) enthalten, nach Grützner nur letzteres und zwar Pepsin, er stellt daher die Brunner'schen Drüsen zu den Pylorusdrüsen des Magens.

Die Leber.

Die Leber ist die grösste Drüse des menschlichen Organismus. Aeusserlich ist das Leberparenchym dunkelbraun, im normalen Zustande gleichmässig gefärbt. Ein Hauptunterschied der Leber von den übrigen Drüsen mit Ausführungsgängen besteht darin, dass sie sich nicht in von einander getrennte Läppchen scheiden lässt, von denen jedes seinen eigenen getrennten Ausführungsgang besässe, unter einander durch Bindegewebe vereinigt. Das absondernde Gewebe sowie das Netz der Kapillargefässe stehen in der menschlichen Leber überall in directer Verbindung. Anders erscheint dieses bei den Lebern des Eisbären und des Schweines, bei welchen Thieren eine Trennung des Lebergewebes in einzelne, mit freiem Auge sichtbare Läppchen oder Inseln durch dazwischentretendes Bindegewebe besteht. E. H. Weber hat zuerst gezeigt, dass dieses letztgenannte Verhalten von der menschlichen Leber nicht getheilt wird, wenn auch häufig genug krankhafte Veränderungen der Drüse ein nach dieser Richtung zu deutendes Verhalten vortäuschen. Nirgends tritt Bindegewebe in so grosser Menge in die menschliche Leber ein, um eine Sonderung in Läppchen oder Inseln zu Stande kommen zu lassen. Trotzdem behaupten auch in der menschlichen Leber kleine Gewebsabschnitte etwa

von der Grösse der Leberläppchen des Schweines — 0,7 bis 2 mm gross — eine gewisse Selbständigkeit. Man hat auch sie mit dem Namen Leberläppchen oder Leberinseln belegt. Die Selbständigkeit, die Individualisirung der Leberläppchen liegt vor Allem in der Anordnung ihrer Gefässe.

Die Leber bekommt nicht nur aus einer Quelle Blut zugeführt. Ausser der Arteria hepatica, die vor Allem zur Ernährung des eigentlichen Leberparenchyms der Gefässe, Gallengänge, Nerven etc. dient (HERING), erhält sie noch Blut aus dem Venenstamm der Pfortader, die sich aus den Kapillargefässen des Magens, der Milz und der Gedärme etc. bildet. Sie löst sich in der Leber zu einem zweiten Kapillarnetze auf, so dass der Blutstrom in ihr ungemein langsam werden muss. Nach FLÜGGE bedarf beim Hunde das Blut zur Durchströmung der Leber die gleiche Zeit, wie zur Vollendung eines ganzen Kreislaufes. Wir haben also drei Lebergefässarten zu unterscheiden; zwei zuführende Gefässe: Arteria hepatica und Vena portae und die abführenden Gefässe: die Lebervenen, Venae hepaticae. Um die Läppchen herum verlaufen feine Pfortaderzweige: Venae interlobulares, welche ein reiches Kapillarnetz in das Innere der Läppchen senden. Dort verbinden sie sich mit den arteriellen Kapillaren, deren feinste Stämmchen auch im Umfange der Läppchen verlaufen, und ergiessen ihr gemischtes Blut in ein grösseres Aestchen der Lebervene: Vena centralis oder intralobularis, welche regelmässig in der Mitte jedes Läppchens sich befindet. Es stehen also die kleinsten zu- und abführenden Gefässstämmchen durch die ganze Leber hindurch in regelmässigen Abständen von einander, aber wenn auch die Gefässe der einzelnen Läppchen überall in directer Verbindung mit einander sind, so lässt sich doch eine aus ihrer regelmässig wiederkehrenden Anordnung folgende theilweise Selbständigkeit der einzelnen Gefässbezirke nicht verkennen.

Die feinen gallenabführenden Gänge schliessen sich an die Pfortaderstämmchen, die Venae interlobulares, an und betheiligen sich damit an der schärferen Abgrenzung der Läppchen, so dass jedes derselben von einem reichen Netz verschiedenartiger Gefässe rings umsponnen wird. Zwischen diesen Gefässen, den übrig bleibenden Raum abgesehen von den Lymphgefässen ausfüllend, befindet sich das absondernde Drüsengewebe der Leber: das sich aus den Leberzellen und den Gallenkapillaren zusammensetzt.

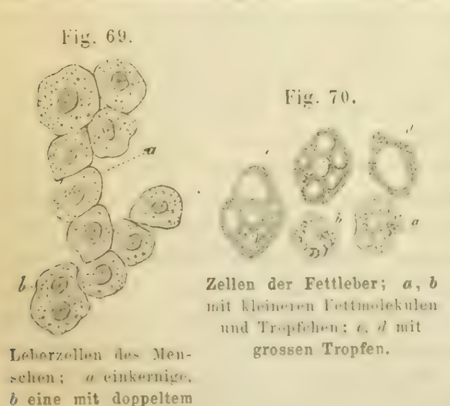


Fig. 69. Leberzellen des Menschen; *a* einkernige, *b* eine mit doppeltem Nucleus.

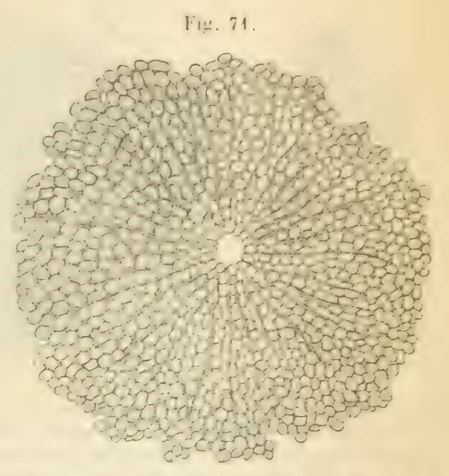
Fig. 70. Zellen der Fettleber; *a*, *b* mit kleineren Fettmolekulen und Tropfchen; *c*, *d* mit grossen Tropfen.

Erstere sind unregelmässig geformte, durch den Druck abgeplattete Zellen, mit einem feinkörnigen sehr eiweissreichen, gelblichen Protoplasma, in welchem sich ein grosser, runder, bläschenförmiger Zellenkern mit einem oder zwei Kernkörperchen erkennen lässt (Fig. 69). In dem Inhalte der Zellen finden sich regelmässig grössere und kleinere Fetttröpfchen und gelbröthliche Farbstoffkörnchen. Besonders bei pathologischen Veränderungen, aber auch bei der reichlichen Zufuhr

von Fett in der Nahrung, z. B. bei säugenden Thieren, findet sich eine bedeutende Anhäufung von Fett in den Zellen, die einzelnen kleinen Tröpfchen können auch zu grösseren Fetttropfen zusammenfliessen (Fig. 70). Eine Membran der Leberzellen ist nicht nachgewiesen; isolirt zeigen die lebenden Zellen langsame amöboide Bewegungen (LEUCKART).

Die Zellen liegen mit ihren abgeplatteten Flächen direct neben einander und bilden ein solides Netzwerk. Besonders regelmässig ist das Zellennetz um die Centralvene herum, wo es eine wirklich strahlenförmige Anordnung zeigt (Fig. 71). Die Dicke der Zellennetze richtet sich in der Breite nach den Zwischenräumen, welche die Kapillaren zwischen sich lassen, manchmal bestehen sie nur aus einer Zellenreihe hinter einander, manchmal sind sie 2—5 Zellen breit, stets aber ist ihre Form wegen der ungleichmässigen Vertheilung der Kapillaren und ihrer Zwischenräume ganz unregelmässig.

Fig. 71.



Leberläppchen eines 10jährigen Knaben (Copie nach ECKER) mit dem Querschnitt des centralen Lebervenenstämmchens.

Es schien am einfachsten, anzunehmen, dass, wie an anderen Drüsen, auch bei der Leber die absondernden Zellen in eine Hülle eingeschlossen, die dann in die Gallengänge mündete, als Epithel stünden. Nach BEALE, KÖLLIKER u. A. findet sich eine analoge Anordnung wirklich. Die Gallengänge gehen, wie schon lange bekannt ist, in Begleitung der Pfortader- und der Leberarterienzweige in das Innere des Lebergewebes ein; indem sie sich baumförmig verästeln, erreichen sie endlich die Läppchen, wo sie sich zu einem zarten Netzwerke in dem Läppchenumkreise auflösen, nachdem sie vorher fast ohne alle gegenseitige Verbindung mit einander verliefen. Von diesem Geflechte gehen dann feinste Gefässchen an die Läppchen heran. Die letztgenannten Forscher nehmen an, dass die Verbindung der feinsten Gallengefässe und der Leberzellen dadurch bewirkt werde, dass sich eine zarte Hülle von den Gallengängen her über die Leberzellen hinwegzieht, wodurch leberzellenhaltige zarte Röhren gebildet würden, was besonders bei Lebern von Embryonen deutlich sei. Bei Lebern von Erwachsenen liesse sich die Hülle um die Leberzellen nur an den Ansatzstellen der Zellenröhren an die Gallengefässe noch nachweisen, weiterhin verschmelze sie untrennbar mit den Membranen der Gefässe.

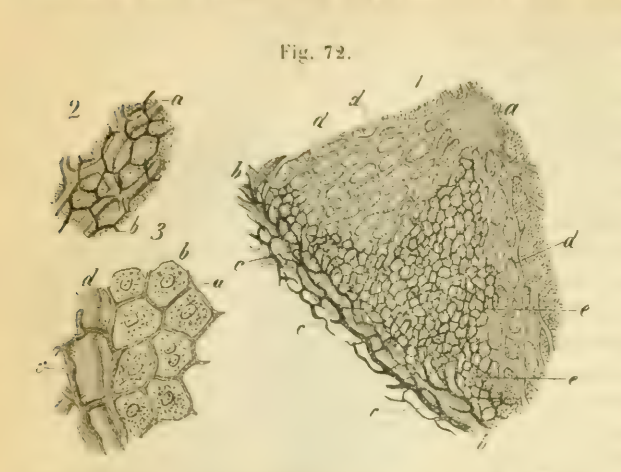
Die feinsten wirklichen Gallengänge im Läppchenumkreis haben nur noch einen Durchmesser von 0,011—0,015 mm.

BEALE gab an, dass die Leberzellen die ganze Höhlung, welche von der sie umschliessenden feinen Hülle — einer Membrana propria — gebildet wird, nicht vollkommen ausfüllen, so dass zwischen ihnen Platz für den Abfluss des in ihnen gebildeten Sekretes bleibt (Gallenkapillaren).

GERLACH, BUDGE, ANDRÉJEVIC, MAC GILLAVRY und CHRZONSZCZEWSKY fanden.

dass feinste Gallengänge: Gallenkapillaren Fig. 72 in die Läppchen und zwischen die Leberzellen hereintreten. Sie sind Canälchen von äusserster Feinheit beim Kaninchen 0,002—0,0017 mm messend und bilden kubische Maschenräume von der Grösse der Leberzellen. Sie verlaufen nicht an den Kanten, sondern zwischen den Scheidewänden der Leberzellen (Hering), so dass ihr Hohlraum meist von zwei Zellen gebildet wird.

Fig. 72.



Gallenkapillaren der Kaninchenleber. 1 Ein Theil eines Läppchens. *a* Vena hepatica; *b* Pfortaderast; *c* Gallengänge; *d* Kapillaren; *e* Gallenkapillaren. 2 Die Gallenkapillaren (*b*) in ihrem Verhalten zu den Haargefässen der Blutbahn (*a*). 3 Gallenkapillaren in ihrer Anordnung zu den Leberzellen. *a* Kapillaren; *b* Leberzellen; *c* Gallengängchen; *d* Haargefässe der Blutbahn

Die weiteren Lebergallengänge bestehen aus Bindegewebe mit elastischen Fasern mit Cylinderepithel bekleidet, an den grösseren Gallengängen zeigen sich glatte Muskelfasern (Henle, nach Heidenhain auch an den mittelweiten Gängen), die aber nur an der Gallenblase zu einer dünnen Muskelschicht werden. Die feinen Gallengänge haben eine structurlose Hülle und Epithel. Hering hat den Zusammenhang zwischen den Gallengängen und Gallenkapillaren erkannt, sowie das Verhalten der Leberzellen zu denselben. Die Lichtung der feinsten Gallengänge geht ohne erhebliche Minderung ihres Durchmessers unmittelbar in die intralobularen Gallenwege oder Gallenkapillaren über. Hier wechseln die Gänge das Epithel. Unmittelbar an die Hohlräume zwischen den Leberzellen (Gallenkapillaren), deren Epithel also die Leberzellen (gleichsam) darstellen, stösst das Epithel der kleinsten Gallengänge (Leydig), aus kleinen Zellen bestehend, die nur zuweilen an der Stelle des Uebergangs etwas vergrössert erscheinen.

In den Gallenwegen findet sich eine Menge kleiner traubenförmiger Schleimdrüschen: die Gallengangdrüsen (Kölliker, Riess). Luschka zeigte ihr Vorkommen auch in der Gallenblase.

Die Leber ist reich an Lymphgefässen, die ein oberflächliches und tieferes Netz um sie spinnen und die Pfortader bis in die Läppchen begleiten. Hier setzen sie sich fort in ein das ganze Läppchen durchstrickendes viertes Netzwerk lymphatischer Gänge. Die Leberzellen grenzen mit einem Theil ihrer Oberfläche auch an diese interlobulären Lymphräume (Mac Gillavry), welche Hering für Kunstprodukte hält. v. Wittich injicirte von der Trachea aus ein feines, perivaskular (die Pfortader und Lebervenenstämme umspinnendes) Netz von feinen Hohlräumen, Lymphgefässe, von welchen sehr feine Ausläufer in die Leberläppchen zwischen Blutkapillaren und Leberzellen vordringen.

Die zahlreichen Nerven der Leber, die vom Sympathicus — Plexus

coeliacus — und Vagus stammen, sind in ihrem Verhalten im Innern der Drüse, in welche sie mit den Arterien eindringen, neuerdings von PFLÜGER erforscht. Sie sind sehr reichlich, enthalten viele Ganglienzellen. Mit den Leberzellen treten theils markhaltige Nervenfasern durch feine in die Zellen eintretende Fibrillen in Verbindung, theils Bündel feinster Fasern. Das Verhalten erinnert sehr an das bei den Speicheldrüsen beobachtete S. 260.

Chemische Bestandtheile der Leberzellen.

Die Leber als die grösste Drüse des Organismus war vielfältig Gegenstand eingehender chemischer Untersuchung. Man hat in ihr BERNARD einen in den übrigen Organen des Erwachsenen sonst nur in geringerer Menge vorkommenden Stoff, zweifellos ein Produkt ihrer Zellenthätigkeit, vorzüglich bei Ernährung mit Amylaceen, in relativ grosser Masse aufgefunden, das Glycogen, das sich unter analogen Bedingungen wie Stärke in Zucker verwandelt.

Unter den Bestandtheilen, die man nach der Ausspritzung des Blutes bei möglichster Vermeidung kadaveröser Zersetzungen (durch Abkühlen auf die Temperatur des schmelzenden Eises oder durch Erhitzen auf 100° C.) aus der Leber gewinnt, steht quantitativ neben mehreren Eiweissmodificationen das Glycogen gewöhnlich obenan. SCHIFF hält die blassen Körnchen, welche man bei starken Vergrösserungen stets in allen Leberzellen findet, für Glycogen. Nach C. BOCK und F. A. HOFFMANN ist das nicht der Fall, diese Körnchen färben sich nicht mit Jod, während bei feinen Schnitten von glycogenreichen Lebern sich der Zellinhalt selbst mit Jod dunkel färbt, so dass das Glycogen diffus in ihm enthalten zu sein scheint. Der Glycogengehalt ist nicht in allen Theilen der Leber gleich vertheilt (v. WITTICH). Neben Glycogen finden sich meist noch eine grössere oder geringere, absolut aber immer kleine Quantität von wahrem Zucker, nach CL. BERNARD's neuen vorwurfsfreien Versuchen (1877) etwa 2,4 pro mille, und specifische Gallenbestandtheile, von denen es zweifelhaft bleibt, ob sie aus dem Zelleninhalte oder aus den feinen Gallengängen stammen, welche nicht entleert werden können. Die Leber enthält ein sacharificirendes, diastatisches Ferment, welches sich auch in der Galle findet (v. WITTICH).

SALOMON constatirte in zwei Fällen Glycogen in der frisch untersuchten Leber neugeborener Menschen.

Das Glycogen wird entweder als schneeweisses, lockeres Pulver oder als spröde gummiartige Masse gewonnen. Seine elementare Zusammensetzung lässt es nach v. GORUP-BESANEZ, APJOHN, PELOUZE als ein wahres Kohlehydrat erscheinen, das sich in der procentischen Zusammensetzung von Stärke nicht unterscheidet: $C_6 H_{10} O_5$. Doch scheint es verschiedene Wassermengen chemisch binden zu können, denn die Analysen verschieden dargestellter Präparate ergaben neben der eben genannten auch wasserreichere Formeln: $C_6 H_{12} O_6$ und $C_6 H_{14} O_7$. Nach SCHTSCHERBAKOFF enthält die Leber bei gemischter Nahrung 4 Glycogenmodificationen, die sich durch ihr optisches Drehungsvermögen und chemisches Verhalten unterscheiden. Die Lösung des Glycogens in Wasser ist milchig trüb, mit Jod nimmt es tiefrothe Farbe an (wie die Stärkeart: Inulin); es reducirt Kupferoxyd in alkalischer Lösung nicht, wodurch es sich vom Traubenzucker unterscheidet. Kochen mit verdünnter Schwefelsäure oder Salzsäure, dann Einwirkung von Speichel und pankreatischem Saft verwandeln das Glycogen zuerst in einen dem Dextrin ähnlichen Stoff, dann in Trauben-

zucker (cf. oben). Dasselbe thut kaltgewonnenes wässeriges Leberextrakt und Blutserum, so dass wir in diesen ein zuckerbildendes Ferment wie in den Speicheldrüsen und dem Pankreas annehmen müssen, das v. WITTICH auch isolirte. Animalisches Dextrin, die Vorstufe des Zuckers, stellte zuerst LIMPRICHT aus Pferdelebern dar. Neuerdings spricht man von Glycogendextrin und zwar wird ein α und β unterschieden, je nachdem es durch Säuren oder Alkalien aus Glycogen gewonnen wurde. (KÜHNE, NASSE, v. VINTSCHGAU u. A.)

Es erscheint nach dem Gesagten als keine gewagte Behauptung, wenn man den in dem Leberextrakte gefundenen Zucker von der Umwandlung des Glycogens ableitet. Lässt man ausgeschnittene, frische Lebern einige Zeit liegen, so entsteht in ihnen fast ohne Ausnahme Zucker in reichlicherer Menge. Nicht selten findet sich aber in der ganz frischen, dem eben getödteten Thiere entnommenen Leber neben dem Glycogen fast gar kein Zucker vor. Es darf dieses aber nicht so gedeutet werden, als ob der Zucker überhaupt erst ein Produkt kadaveröser Zersetzung der Leber sei (PAVY, MEISSNER), weil die im Leben in der Zeiteinheit gebildete Zuckermenge relativ klein ist und sofort durch den Blutstrom aus der Leber entfernt werden muss.

Von rein nervösen Einflüssen auf die Glycogenmenge der Leber weiss man wenig. Nach Durchschneidung des Rückenmarks zwischen 5.—6. Halswirbel fand JACQUES MAYER die Glycogenmenge und die Glycogenbildungsfähigkeit der Leber verringert.

Die Glycogenmenge in der Leber steht unter Beeinflussung der Nahrungsverhältnisse (R. MAC-DONNEL, TSCHERINOFF u. A.). Am reichlichsten ist sie bei einer Nahrung aus Stärke oder Zucker mit Albuminaten. Fettfreies Fleisch, Leim, nach v. MEHRING auch Eieralbumin, Fibrin und Pepton als Nahrung genossen, genügen, um in der Leber Glycogen hervorzubringen, während es aber bei der erstgenannten Nahrungsweise bei Hühnern bis zu 12 % des Lebergewichtes ansteigen kann, beträgt es bei der zweiten nur circa 1,7 %. Bei verhungerten Thieren kann es in der Leber gänzlich fehlen, bei hungernden Hunden aber erst nach 14—21 Tagen. Dagegen fanden VALENTIN und C. ALBY, was C. VOIT bestätigte, bei winterschlafenden Thieren, LUCHSINGER ebenso bei »Winterfröschen«, die Glycogenmenge der Leber auffallend reichlich. Einige Stunden nach der Nahrungsaufnahme ist der Glycogengehalt der Leber am grössten, dann nimmt er ab. Aus der Beobachtung, dass die Glycogenmenge in der Leber steigt bei Fütterung mit Amylaceen und Zucker (M'DONNEL, PAVY, TSCHERINOFF, DOCK u. A.) schloss man, dass das Glycogen der Leber aus dem Zucker der Nahrung stamme, während der Entdecker des Glycogens, BERNARD, dasselbe aus der Zersetzung der Eiweisskörper ableitete. Diese letztere Meinung hat eine Stütze durch die Untersuchung von S. WEISS gefunden, der die Wirkung der Kohlehydrate auf die Glycogenbildung entsprechend ihrer Wirkung für den Fettansatz im Organismus bei der Ernährung in einer Herabsetzung des Eiweissverbrauchs resp. in einer Aufspeicherung seiner Zersetzungsprodukte, unter denen er das Glycogen annimmt, zurückführt. WEISS fand nämlich bei Fütterung von Hühnern mit Glycerin, einem Stoff, der nach SCHEREMETJEWSKI rasch im Blute zu Kohlensäure und Wasser verbrennt, also selbst nicht zur Glycogenbildung Verwendung finden kann, die Glycogenmenge der Leber bedeutend vermehrt, wie er glaubt, weil die Glycogen liefernden Stoffe (Eiweiss) durch das leichter verbrennliche Glycerin vor der Zerstörung im Stoffwechsel geschützt würden. B. LUCHSINGER nimmt nach seinen Beobachtungen wieder Stellung gegen diese »Ersparnisstheorie«, obwohl er die Glycogenbildung unter Glycerin bestätigte. Er prüfte andere notorisch leicht im Organismus oxydable Materien: Fett, weinsaures und milchsaures Natron mit negativem Erfolg für die Glycogenbildung. Das Glycerin ausgenommen, sind es nach seinen Versuchen ausschliesslich Kohlehydrate (Rohrzucker und Fruchtzucker), welche die Glycogenbildung in der Leber, ebenso auch in den Muskeln steigern. Kohlehydrate und Glycerin sollen direkt in Glycogen übergehen. Nach G. SALOMON entsteht aus Mannit kein Glycogen. Nach Einspritzung von Zucker in die Vena mesenterica, namentlich aber in den Magen wird der Glycogengehalt der Leber vermehrt (PINK).

v. WITTICH erklärt die von HEIDENHAIN u. A. benutzte Methode der vergleichenden Untersuchung der Leber auf Glycogen, nach welcher zuerst ein Stück der Leber ausgeschnitten

wird, um dann nach einem bestimmten physiologischen Eingriff neben dem gesammten Leberrest auf Glycogen vergleichend untersucht zu werden, für vollkommen unzulässig, da dieser starke operative Eingriff die Glycogenmenge in der im Organismus restirenden Leber herabsetzt. v. Wittich sah nach Unterbindung des Ductus choledochus den Glycogengehalt der Leber bei Kaninchen und Tauben fast vollkommen verschwinden, resp. bei Tauben um das 22fache, bei Kaninchen um das 40—130fache abnehmen. Jede mechanische Reizung der Leber macht dabei den Harn zuckerhaltig.

Ausser in der Leber der Erwachsenen ist das Glycogen zuerst in den Organen, namentlich den Muskeln, von Embryonen nachgewiesen worden (Bernard, Kühne). Neuerdings auch in den Muskeln erwachsener Individuen (O. Nasse) und in vielen jugendlichen Zellen (Hoppe-Seyler) kommt es neben wahrem Zucker (Meissner, J. Ranke) vor. In den Muskeln neugeborener Thiere fand es M'Donnel. Dextrin stellte Limpricht aus dem Fleisch junger Pferde dar.

Das Eiweiss der Leberzellen fällt z. Th. beim Ansäuern mit Essigsäure heraus. Dasselbe findet statt bei der nach dem Tode eintretenden Säuerung des im Leben alkalischen Gewebssaftes der Leber. Die Säuerung geschieht wie in den Muskeln durch das Auftreten von Milchsäure, die von verschiedenen Beobachtern in den Lebern der Menschen und Thiere nachgewiesen wurde. Durch die Gerinnung des Albuminats wird die Leber ganz ähnlich todtenstarr wie der Muskel, wodurch sie weniger brüchig als im frischen Zustande, fester erscheint. Es betheiligt sich an diesem Starrwerden der Lebersubstanz aber auch das bei der Abkühlung festwerdende Fett der Leberzellen.

Die Fette der Leber sind noch wenig untersucht, es finden sich, neben anderen noch unerforschten, stets Oleïn, Stearin und Palmitin. v. Bibra fand Spuren von Cholesterin im Leberextrakt.

Harnstoffbildung in der Leber. — Harnsäure, Sarkin und Xanthin scheinen (Scherer, Clötta, Städeler) stets im Leberextrakt zu sein; ebenso eine ziemlich bedeutende Menge von Harnstoff (Heinsius, Meissner u. A.), aus der abzunehmen ist, dass die Leber neben den Muskeln (Picard) eine der Hauptbildungsstätten des Harnstoffs im Organismus ist (Meissner). In der Hundeleber finden sich etwa 0,06—0,1 Gramm, d. h. etwa 0,02 % des Lebergewichts. Meissner fand auch in der Milz Harnstoff, ebenso Spuren im Gehirn (Städeler) und der Lunge. Aus Cyon's Beobachtungen geht hervor, dass die Leber an das durchströmende Blut Harnstoff abgibt, was neuerdings bestätigt wurde. Da noch andere Organe an der Harnstoffbildung sich betheiligen als die Leber, so ist das Versuchsergebniss Im. Munk's, dass das Blut procentisch etwas mehr Harnstoff enthält als die Leber desselben Thieres, nicht unverständlich. Aus vier vergleichenden Versuchen an Hunden berechnet er im Mittel Harnstoffgehalt in der Leber 0,034 %, im Blut 0,042 %. Die Wirkung der Leber und der Lymphdrüsen etc. auf die Harnstoffbildung ist für die Ernährungslehre von grösster Wichtigkeit (cfr. Harnstoff bei Harn Cap. XV.)

In der Vogelleber fand Meissner anstatt Harnstoff reichlich Harnsäure, was nach den Ausscheidungsverhältnissen des Stickstoffs im Harn bei Vögeln zu erwarten war.

v. Bibra fand in der Leber eines in Folge eines Sturzes plötzlich gestorbenen Mannes folgende Zusammensetzung, die als Beispiel der normalen quantitativen Verhältnisse dienen kann:

Wasser	761,7
feste Stoffe . . .	238,3
unlösliches Gewebe	94,4
lösliches Albumin .	24,0
Glutin	33,7
Extraktivstoffe . .	60,7
Fett	25,0

Die Asche der Leber stimmt ziemlich genau mit der Fleischasche überein, doch

überwiegen die Kalisalze etwas weniger uber die Natronsalze als im Fleische, was auf einen unentfernten Blutgehalt in der untersuchten Drüse deutet. In 100 Theilen Asche der Leber eines Mannes fand OIDTMANN:

Kali	25,23
Natron . . .	14,51
Magnesia . .	0,20
Kalk	3,61
Chlor. . . .	2,58
Phosphorsäure.	50,18
Schwefelsäure .	0,92
Kieselsäure . .	0,27
Eisenoxyd . .	2,34
Manganoxydul .	0,10
Kupferoxyd . .	0,05
Bleioxyd . . .	0,01
	100,00

Kupfer und Blei finden sich fast regelmässig in der Asche der Menschenleber. —

Nur ein Theil der in der Leber aufgefundenen Stoffe geht in das Sekret derselben, in die Galle über und kommt dadurch für die Lehre von der Verdauung in Betracht. Ein anderer nicht unbedeutenderer Theil (Zucker) geht aus den Leberzellen in das Blut zurück, von woher jene das Material zur Bildung ihrer specifischen Produkte bezogen.

Die Galle.

Die Galle ist normal flüssig, klar, ohne geformte Beimengungen. Nur als zufällige Bestandtheile findet man abgestossene Cylinderzellen der weiteren Gallengänge, hier und da auch Pflasterzellen aus den Gallenkapillaren.

In der Menschengalle, die man bei Sectionen gewinnt, zeigen sich manchmal grössere und kleinere Fetttröpfchen und Farbstoffkörnchen, in seltenen Fällen findet sich Gallenfarbstoff in röthlichen Nadeln ausgeschieden.

Die frische Blasengalle reagirt auf Pflanzenpapier neutral oder schwach alkalisch (v. GORUP-BESANEZ). Letztere Reaktion ertheilte ihr wohl erst die ziemlich reichliche Beimischung von Schleim, das Absonderungsprodukt der in den Ausführungshohlräumen beschriebenen Schleimdrüsen. Die stetig in den Darm abfliessende Galle ist dünnflüssig, bei Behinderung des Abflusses wird sie dickflüssiger und mucinhaltiger. Das specifische Gewicht der Blasengalle schwankt zwischen 1026—1032, ihre festen Stoffe betragen im Mittel 13,65 %. Ihre Farbe ist in der Gallenblase gelb, grün, braun, bis schwarzbraun. An der Luft färbt sich gelbe Galle grün, die Galle der Vögel und Pflanzenfresser hat diese Farbe schon während des Lebens in der Gallenblase. In der Gallenblase wird die Galle concentrirter. Das menschliche frische Lebersekret (aus einer Gallenfistel) hat nur ein specifisches Gewicht von 1010,5 — 1010,7 (JACOBSON) und nach JACOBSON 2,24—2,28 %, nach meinen Bestimmungen im Mittel 3,16 % feste Stoffe. Die Galle mit concentrirter Schwefelsäure gemischt fluorescirt. Im durchfallenden Lichte zeigen diese Lösungen eine dunkelrothe, im auffallenden Licht eine saftgrüne Farbe.

In der Galle sind Stoffe enthalten, welche dieses Sekret vor allen anderen charakterisiren; es sind dieses die Gallensäuren: die stickstoffhaltige Gly-

cocholsäure und die Taurocholsäure, die ausser Stickstoff auch noch Schwefel in ihrer Zusammensetzung besitzt (S. 84).

Beide Säuren sind gepaarte Verbindungen der Cholsäure, die selbst stickstofflos ist. Der Stickstoffgehalt der Glycocholsäure hat seinen Grund darin, dass in dieser Säure die Cholsäure mit dem stickstoffhaltigen Glycin gepaart ist. Paart sich mit der Cholsäure das stickstoff- und schwefelhaltige Taurin unter Aufnahme von 2 Atomen Wasser, so entsteht die zweite gepaarte Säure, die Taurocholsäure. Die Cholsäure gehört nach Baumstark (da sie den sog. Benzoëkern enthält) zur Reihe der aromatischen Substanzen: zu denen auch die Hippursäure, das Indican und Tyrosin gehören.

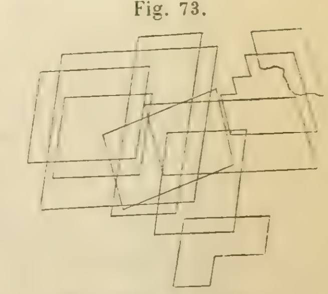
Das Glycin (Syn. Glycocoll oder Leimzucker seines süssen Geschmacks wegen) kommt nicht nur in der Galle an Cholsäure gebunden vor. Gepaart mit Benzoësäure findet man es im Blute und Harne als Hippursäure. Es ist ein Zersetzungsprodukt des leimgebenden Gewebes und des Eiweisses. Es ist künstlich (aus Monochloressigsäure) dargestellt worden.

Durch Erhitzen der Cholsäure bei 200° C. bildet sich, sowie durch Kochen mit Säuren, das Dyslysin.

Die Gallensäuren sind in der Galle an Natron gebunden, nur spurweise an Kali; sie erscheinen als seifenartige Verbindungen. Die Gallensäuren verleihen den Gallen den sprüchwörtlichen bittern Geschmack. Auch Seifen: Alkalisalze von Oelsaure, Stearinsäure, Palmitinsäure und anderen leichter flüchtigen fetten Säuren, dann neutrale Fette: Oleïn, Palmitin, Stearin enthält die Galle, auch Lecithin und Zersetzungsprodukte des Lecithins: Cholin (Neurin) und Glycerinphosphorsäure.

Die Farbe der Galle rührt von dem Gallenfarbstoff her, dem Bilirubin, das durch oxydirende Einwirkungen in Biliverdin und Bilifuscin übergehen kann. Schon der Sauerstoff der Luft genügt zur Ueberführung, braune Galle wird grün an der Luft. (Die Bildung des Gallenfarbstoffs cf. S. 88).

Fig. 73.



Krytalle des Cholesterins.

Ausserdem finden sich in der Galle auch normal geringe Mengen von Fett theils als solches, theils mit den reichlich in der Galle sich findenden Alkalien verseift, auch ein fettähnlicher, durch seine charakteristische Krystallform ausgezeichneter Körper: Cholesterin (Fig. 73). In der Galle wird dasselbe durch die Salze der Gallensäuren in Lösung gehalten.

Picard fand in der Rindergalle, Popp auch in der Schweinegalle Harnstoff (0,03 %).

Die Galle der verschiedenen Thiere ist verschieden zusammengesetzt. In den Gallensäuren kann die Cholsäure der Menschengalle durch ähnliche Säuren ersetzt werden beim Schwein, der Gans: Hyocholsäure und Chenocholsäure; nach H. Bayer ist auch die Zusammensetzung der Cholsäure der Rindergalle von der in der Menschengalle (Anthropocholsäure) verschieden. In der Menschengalle wiegt hier und da das taurocholsaure Natron vor, manchmal fehlt es dagegen fast ganz. Der Schwefelgehalt der Galle ist bei verschie-

denen Thieren je nach dem Vorwiegen des Glycins oder des Taurins in Verbindung mit der Cholsäure (oder ihren Vertretern) sehr verschieden.

In einigen Untersuchungen über trockene Lebergalle aus einer Gallenfistel bei dem Menschen fand ich eine Zusammensetzung, die mit der von GORUP für Blasengalle gefundenen gut harmonirt (cf. unten S. 324).

Die quantitative Zusammensetzung der Blasengalle mögen zwei Analysen von GORUP-BESANEZ veranschaulichen, welche möglichst normalen Verhältnissen entsprechen:

Menschengalle in 100 Theilen:

	49jähr. Mann enthauptet	29jähr. Weib enthauptet
Wasser	82,27	89,81
feste Stoffe	17,73	10,19
gallensaure Alkalien	10,79	5,65
Fett und Cholesterin	4,73	3,09
Schleim mit Farbstoff	2,21	1,45
anorganische Salze	1,08	0,63

HOPPE-SEYLER fand in der getrockneten Blasengalle: Mucin 1,29%, taurocholsaures Natron 0,86%, glycocholsaures Natron 3,03%, Seifen 1,39%, Cholesterin 0,35%, Lecithin 0,53%, Fette 0,73%. N. SOCOLOFF bestimmte ebenfalls den Gehalt »normaler« menschlicher Blasengalle an gallensauren Salzen zu 3,8—9,8%, Seifen 1,3—2,08%. Der Gehalt der gallensauren Salze schwankt zwischen 1,08—1,13%, was einem Mittelwerth von etwa 24% Taurocholsäure entspricht. In Gallen von Kranken ist der Schwefelgehalt theils weit niedriger theils viel höher, woraus sich Schwankungen des Taurocholsäuregehalts der »kranken« Galle von 8,9—52,3% berechneten.

Als Beispiele von Aschenanalysen der Galle mögen folgende dienen.

In 100 Theilen Asche von Ochsengalle sind enthalten (ROSE):

Chlornatrium	27,70
Kali	4,80
Natron	36,73
Kalk	1,43
Magnesia	0,53
Eisenoxyd	0,23
Manganoxyduloxyd	0,12
Phosphorsäure	10,45
Schwefelsäure	6,39
Kohlensäure	11,26
Kieselsäure	0,36

In 1000 Theilen Galle vom Menschen (Lebersekret) aus einer Fistel genommen (JAKOBSON):

KCl	1,276
NaCl	24,508
PO_4Na_3	5,984
$(PO_4)_2Ca_3$	1,672
CO_3Na_2	4,180

Den Schwefelgehalt der Ochsengalle im trockenen Rückstand des Alkoholauszugs fand BENSCH zu 3,58%.

Die Aschenanalyse zeigt das quantitative Ueberwiegen der Natronsalze über die Kalisalze deutlich, welch' letztere etwa nur 1/6 der ersteren betragen. Dieses Verhältniss ist um so bemerkenswerther, da es in der Leberasche gerade umgekehrt ist. Von den Säuren müssen Schwefelsäure und Kohlensäure, als erst durch die Verbrennung gebildet, erstere wohl ganz, letztere wenigstens ihrer Hauptmasse nach abgerechnet werden. Weiter erkennen wir den hohen Gehalt an freien Alkalien (Natron), die in der frischen Galle mit den Gallensäuren vereinigt waren. YOUNG fand den Eisengehalt der frischen Blasengalle beim Hund zu 0,016%, beim Rind 0,003—0,006%, beim Menschen 0,004—0,01%. Da das Eisen aus zerstörtem Hämoglobin stammt, so würden 100 Gramm Blasengalle etwa 1,6 Grm. zerstörtem Hämoglobin entsprechen.

Die Gase der Galle wurden von PFLÜGER u. A. untersucht. Die Ergebnisse sind sehr schwankend. Sauerstoff scheint manchmal zu fehlen, als Beispiel diene folgende Analyse an der Blasengalle eines Hundes:

Sauerstoff	0,2	bei 0° und 1 m Druck.
Stickstoff	0,4	
Auspumpbare Kohlensäure	14,4	
Durch Phosphorsäure austreibbare Kohlensäure	41,7	

Die Gallenabsonderung.

Die Absonderung der Galle ist eine stetige, sie geschieht unter einem sehr geringen Druck. Wenn der Druck in den Gallengängen, z. B. durch Verschliessung des Ausführungsganges, steigt, so tritt schon bei geringer Drucksteigung die Galle in das Blut zurück, und zwar glaubt HEIDENHAIN, dass dieser Rücktritt aus den gröberen Gallengängen erfolge; es treten dann die Gallenstoffe (Farbstoff und Gallensäuren) im Harn auf (HOPPE-SEYLER), Schleimhäute und Haut färben sich gelb: Icterus. Nach A. RÖHRIG ist die Grösse der Gallensekretion im Allgemeinen abhängig von dem Blutreichthum der Bauch eingeweide. Es stimmt das damit überein, dass die Gallenabsonderung wie die Absonderung des Harns sinkt durch Blutverluste und bei ausgebreiteten Muskelcontractionen (J. RANKE), durch welche das Blut aus den Baucheingeweiden in die arbeitenden Muskeln abgeleitet wird. Nerveneinfluss ist in directer Weise auf die Gallenabsonderung nicht nachgewiesen. Der Vagus hat in dieser Beziehung eine indirecte Bedeutung, indem er momentan die Ausscheidungsweise auf mechanischem Wege verändert dadurch, dass er die Athembewegungen insgesammt, also auch die Bewegungen des Zwerchfells beeinflusst. Durch den Druck, welchen das bei Einathmung herabsteigende Zwerchfell auf die Baucheingeweide mit der Leber ausüben, wird das Sekret derselben mechanisch ausgedrückt (HEIDENHAIN). Der nach der Nahrungsaufnahme gesteigerte Druck in der Bauchhöhle, welcher von der Anfüllung des Magens und des Darms herrührt, hat sonach zweifelsohne ebenfalls einen Einfluss auf die mechanische Entleerung der Gallengänge. Aktive in der Leber selbst gelegene Auspressvorrichtungen, Muskeln, lassen sich nicht nachweisen. Ueber den Nerveneinfluss fand PFLÜGER neuerdings, dass nach Durchschneidung der Nervi Vagi, Phrenici, Splanchnici, Sympathici, nach Zerstörung des Plexus coeliacus, nach Zerquetschung aller in die Porta hepatis eintretenden Nerven bei freiem Blutumlauf die Sekretion der Galle fast unverändert fortbesteht. Reizungen der erwähnten Nerven geben kein bestimmtes Resultat. HEIDENHAIN machte es wahrscheinlich, dass durch Reizung der Gefässnerven, d. h. durch Verminderung der Blutzufuhr die Sekretion vermindert wird; dasselbe fand PFLÜGER für directe Application der electrischen Reizung auf die Leber. Abgesehen von dem angeführten äusseren Druck können wir als Entleerungsmoment nur das »Nachrücken« der fort und fort in den Leberzellen sich bildenden Galle, welche die schon in den Ausführungsgängen angehäufte vor sich herschiebt, anführen. In der Gallenblase sammelt sich die secernirte Galle, wird da durch Wasserresorption etwas concentrirt und während der Dünndarmverdauung in grösseren Mengen in den Darmcanal

ergossen, wohin sie sonst stetig in kleineren Mengen abfliesst. Die Entleerung der Gallenblase erfolgt durch Contraction ihrer Muskulatur, die nach Heidenhain durch Rückenmarksreizung künstlich herbeigeführt werden kann.

Die Gallenbildung.

Das aus dem Darmcanal kommende Blut der Pfortader vor Allem führt der Leber das Material der Gallenbildung zu, und die Leberzellen werden um so thätiger, je grösser die Stoffmenge ist, welche ihnen auf diesem Wege zukommt. Doch scheinen neuere Versuche zu ergeben, dass die Gallenbildung auch ohne die Pfortader (nach langsamer Unterbindung derselben) vor sich gehen kann (Oré), und dass auch von den Arterien aus Material an die Leberzellen abgegeben wird (Kühne und Chrzonszczewsky). Es ist das erklärlich, da ja das Kapillarnetz der Läppchen sowohl von der Pfortader als von der Arterie aus gefüllt werden kann, so dass sie sich für die Sekretion gegenseitig ersetzen können. Nach den Beobachtungen von Frerichs, Oré, Kottmeyer u. A. soll die Unterbindung und Obliteration der Leberarterie die Gallenabsonderung unterdrücken. Es ist das wahrscheinlich, da die Arterie das Leberparenchym ernährt, ihm Sauerstoff zuführt und es damit functionsfähig erhält. Es würde sich diese Beobachtung vergleichen lassen mit der Entdeckung Giannuzzi's, dass die Speicheldrüsen nach Unterbrechung des arteriellen Blutstroms zu secerniren aufhören »ermüden«, wenn auch sonst reichlich flüssiges Material zur Sekretbildung vorhanden ist (S. 263).

Nur ein Theil der Gallenstoffe stammt direct aus dem Blute: das Cholesterin und die anorganischen Salze sind hier vor Allem zu nennen: die Gallensäuren und der Gallenfarbstoff sowie das Glycogen sind erst Umwandlungsprodukte des Stoffmaterials, das die Zellen aus dem Blute in sich aufnehmen. Erstere finden sich ohne Icterus nicht in dem der Leber zuströmenden Blute; nach Exstirpation der Leber, welche Frösche längere Zeit überleben (J. Moleschott u. a.), treten sie ebensowenig im Blute auf. Die chemisch-physiologischen Vorgänge in der Leber finden mit nachweisbarer Wärmebildung statt. Das Pfortaderblut, welches vom Darm her der Leber mit den bei der Verdauung resorbirten Stoffen beladenes Blut zuführt, verändert in der Leber seine chemische Zusammensetzung nicht unbedeutend, doch bedürfen fast alle angegebenen Differenzen noch sehr der Bestätigung. Es scheint konstant während der Verdauung, wenn das Pfortaderblut ziemlich viel Fett enthält, Fett in der Leber zurückgehalten zu werden, wenigstens zeigt sich das Lebervenenblut zu Anfang der Darmresorption noch fettarm. Das Lebervenenblut soll nicht gerinnen, während das Pfortaderblut gerinnt. Das Lebervenenblut ist weit weniger reich an Wasser (der Unterschied beträgt 10 %) und soll viel weniger (31 % Differenz) Salze enthalten (Lehmann). Das Pfortaderblut ist reich an Blutkörperchen. Das Lebervenenblut soll 3mal mehr rothe Blutkörperchen enthalten als das Pfortaderblut. Die meisten rothen Körperchen aus der Lebervene sollen aber mehr sphärisch und sehr resistent gegen Wasser sein: jugendliche Blutkörperchen (Funke) (cf. unten Blutbildung). Die Unterschiede des arteriellen Blutes vom venösen der Leber sind noch weniger sicher gestellt als vorstehende. Die Arterien der Läppchen speisen einen sehr beträchtlichen Theil der Zellen derselben. Nach Kühne und Chrzonszczewsky kann jedes Leberläppchen geschieden werden in zwei Territorien sekretorischer Elemente, von denen das eine durch die Pfortader, das andere durch die Arterie gespeist wird.

Es ist wahrscheinlich, dass wenigstens ein Theil des Bildungsmaterials für die Gallensäuren Eiweissstoffe sind. Man hat früher angenommen, dass die Cholsäure, welche in ihrem chemischen Verhalten, namentlich in ihren Zersetzungsprodukten durch Salpetersäure Aehnlichkeit mit der Oelsäure zeigt, aus Fett, welches die Pfortader in reichlicher Menge der Leber zuführt und das in dieser zurückgehalten zu werden scheint, entstanden sei. Man betrachtete als Beweis dafür auch die Anhäufung von Fett in den Leberzellen, welches man sich aus dem Blut in dieselben als Bildungsmaterial abgelagert dachte. Wir wissen aus den

chemischen Zellvorgängen, dass der Organismus anstatt des Fettes vielleicht überall auch Eiweiss, welches durch seine primäre Spaltung wahrscheinlich Fett liefert, verwenden kann. Vielleicht entstehen theilweise so auch die Fetttröpfchen in den Leberzellen. Wir widersetzen uns also der Annahme, dass die Cholsäure aus Fett entsteht, nicht, wir behaupten nur, dass dieses zu ihrer Bildung dienende Fett in den Leberzellen auch aus Eiweiss abgespalten sein kann. Sicher entstehen die Paarlinge der Cholsäure: das Glycin und das Taurin aus Eiweissstoffen. Wir haben in ihnen stickstoffhaltige Spaltungsprodukte der Albuminate vor uns, das Taurin enthält noch den Schwefel des Eiweisses.

Das Vorkommen von fetthaltigen Lebern bei säugenden, fetthaltige Milch geniessenden Thieren (Gluge, Kolliker) beweist noch nicht sicher die Einführung des Fettes von aussen in die Leberzellen. Da der Fettgehalt der Leber in noch höherem Maasse durch Zuckergenuss gesteigert werden kann nach Tscherinoff, so scheinen wir es hier mit Fettbildung in diesem Organ ebenso zu thun zu haben, wie bei der Mästung überhaupt. Für eine reichliche Spaltung von Eiweissstoffen in der Leber spricht auch das oben erwähnte reichliche Vorkommen von Harnstoff in der Lebersubstanz.

Der Gallenfarbstoff bildet sich mit grösster Wahrscheinlichkeit aus Blutfarbstoff. Virchow u. A. haben darauf hingewiesen, dass das Bilirubin identisch oder wenigstens sehr ähnlich sei dem Hämatoidin, das sich aus alten Blutextravasaten bildet und durch Sauerstoff in Biliverdin übergeführt werden kann (Heintz). Sobald freier Blutfarbstoff im Blut enthalten ist, so tritt im Harn Gallenfarbstoff auf; ersteres kann man erreichen durch Injection von Wasser (M. Hermann) oder von gallensauren Salzen ins Blut (Kühne).

Einfluss der Nahrung auf die Leberthätigkeit.

Ueber die Ausscheidung der Galle wurden an Thieren viele Versuche angestellt. Es wurden die Gallenmengen, die während 24 Stunden gebildet wurden, aus künstlichen Gallenfisteln entleert und bestimmt. Es zeigte sich hierbei, dass die Absonderung der festen Gallenstoffe steigt von der Zeit der reichlichsten Verdauung der Eiweissstoffe an, also von der dritten bis achten Stunde nach der Nahrungsaufnahme; von da an sinkt die Absonderungsgrösse wieder stetig, rascher nach geringer Nahrungsaufnahme als nach bedeutender. Bernard verlegt das Maximum der Gallenabsonderung in die 7. Stunde nach der Nahrungsaufnahme. Nach Arnold und Voit steigt die Gallenabsonderung sogleich nach der Nahrungszufuhr. Dabei ergeben die Versuche, dass die Gallenmenge wächst mit der procentischen Menge von Eiweissstoffen, welche in der Nahrung genossen werden, während Fett allein sie nicht nur nicht steigert, sondern vermindert, wie es ja überhaupt den Eiweissumsatz im Organismus herabsetzt. Die grössten Gallenmengen werden abgesondert bei sehr gesteigerter Fleischaufnahme neben wenig oder keinem anderen Nahrungsstoffe; am wenigsten Galle liefert eine Nahrung mit viel Fett und sehr wenig Eiweissstoffen. Die Menge der in einer gewissen Zeit entleerten flüssigen Galle steht unter der Einwirkung der in den Leberblutgefässen circulirenden Flüssigkeitsmenge. Nach Blutungen hört die Gallenabsonderung ganz auf oder wird entsprechend geschwächt, lange ehe die Muskeln oder die Nerven darunter bemerkbar leiden (J. Ranke). Alle örtlichen Blutverminderungen in den Lebergefässen vermindern oder sistiren die Gallenabsonderung. Oben wurden die dasselbe ergebenden Beobachtungen Heidenhain's und Pflüger's bei Reizung der Gefässnerven angeführt. Eine analoge Verminderung tritt ein, wenn durch

gesteigerte Arbeitsleistung der Muskulatur den Drüsen und vor Allem der Leber Blut entzogen wird, das dem arbeitenden Organ in gesteigerter Menge zuströmt (J. Ranke). Bei Hunger sinkt die Gallenmenge. Umgekehrt kann durch Vermehrung der Flüssigkeitsmenge in den Leberblutgefässen die flüssige Absonderung der Galle gesteigert werden. Bei der Verdauung, wenn der Blutzufluss zur Leber vermehrt ist, wächst die Gallenabsonderung. Einspritzen von Flüssigkeit in die Blutgefässe (Wasser, auch Lebergalle, J. Ranke, Lösungen von gallensaurem Natron, Schiff) steigert die Gallensekretion, dasselbe thut Wassertrinken (?). Die Wiederherstellung der Bluteirculation in der Leber frisch geschlachteter Thiere (Schmulewitsch) erneuert die Gallenausscheidung (?), ebenso die Einleitung von Wassercirculation in den Gefässen (Pflüger).

Die Menge der vom Menschen durchschnittlich gelieferten Galle schätzte man bisher auf 160—1200 Gramm in 24 Stunden nach den Bestimmungen an Katzen und Hunden unter Berücksichtigung des verschiedenen Körpergewichtes. Die beobachteten bedeutenden Verschiedenheiten der Absonderungsgrösse der Galle bei verschiedenen Thierarten nehmen dieser Rechnung ziemlich ihren Werth. Es glückte mir, eine Gallenfistel bei einem Manne zu beobachten und zuerst einige Bestimmungen der in 24 Stunden ausgeschiedenen Galle zu machen. In Folge eines Echinococcus hepatis war ein Durchbruch in einen Lungenbronchus erfolgt. Zeitweilig wurde keine Galle in den Darm, sondern alle durch die Lunge entleert. Der Mann wog 47 Kilogramm. Im Mittel schied er in 24 Stunden aus 652 Gramm Galle mit 20,6 Gramm festen Stoffen und 11 Gramm Gallensäuren, im Minimum 415 Gramm, im Maximum 945 Gramm. Ein Kilogramm Mensch secernirt sonach in 24 Stunden im Mittel 14,0 Gramm flüssige und 0,44 Gramm feste Galle, im Maximum 20,11 Gramm flüssige und 0,8 Gramm feste Galle. Analoge Beobachtungen v. Wittich's an einer durch Gallensteine entstandenen Gallenblasenfistel bei einem Weibe ergaben in 4 Stunden 88^{cc} abfliessende Galle, in 10 Stunden 224^{cc}. v. Wittich berechnet daraus für den Tag eine Ausscheidung von 532,8^{cc} Galle, was mit meinen Beobachtungen gut stimmt. Die Zusammensetzung des Lebersekretes fand ich quantitativ sehr genau mit der oben von v. Gorup-Besanez gegebenen übereinstimmend mit Ausnahme des Wassergehaltes. Nach den älteren Beobachtungen von Frerichs und v. Gorup-Besanez besitzt die Blasengalle des Menschen im Mittel 13,65 % feste Stoffe, während nach meinen Bestimmungen das frische Lebersekret des Menschen nur 3,16 % feste Stoffe enthält. Die mittlere Zusammensetzung des Lebersekretes und der Blasengalle, erstere nach meinen, letztere nach den Bestimmungen von Frerichs und v. Gorup-Besanez ist bei dem Menschen folgende:

	Blasengalle:	Lebersekret:
Gallensäuren	54,8 %	53,5 %
Fett, Cholesterin	21,8 -	14,5 -
Farbstoff, Schleim	16,0 -	17,3 -
Asche	6,0 -	14,8 -

Die Asche des Lebersekretes beträgt 14,8 % im Mittel, während die Blasengalle

nur 6 % enthält. Diese Beobachtungen beweisen, dass neben Wasser auch anorganische Salze in der Gallenblase resorbirt werden. Die Verschiedenheiten zwischen Lebersekret und Blasengalle, welche wir am Menschen beobachteten, finden sich auch etwa in denselben Grenzen bei Thieren. Eine Verminderung der anorganischen Salze in der Gallenblase des Hundes scheinen auch die leider nicht vollkommen beweiskräftigen vergleichenden Aschenbestimmungen Hoppe-Seyler's zu ergeben; er bestimmte im trockenen frischen Lebersekret 8,0 %, in der Blasengalle dagegen nur 0,88 % anorganische Stoffe. Es ist nach unseren S. 126—136 zusammengestellten Beobachtungen selbstverständlich, dass es sich bei der Resorption in der Gallenblase nicht um einen »einfachen« Diffusionsvorgang handeln könne. Je nach den verschiedenen Körperzuständen, welche ja Blutveränderungen setzen, die denen durch Nahrungsaufnahme ganz gleich sind, wird die abgesonderte Menge der Gallenstoffe bei ein und demselben Individuum sehr bedeutend verschieden sein. Je eiweissreicher ein Organismus ist, desto grösser wird seine Gallenabscheidung. Damit mag es zusammenhängen, dass die Galle, welche man aus gesunden weiblichen Leichen untersuchte, procentisch wasserreicher war als die aus gesunden männlichen. Das Alter des Individuums wird sich entsprechend dem grösseren Wasserreichthum, welchen die Organe in der früheren Jugend und im hohen Alter wie im Allgemeinen bei dem weiblichen Geschlechte zeigen, nach derselben Richtung geltend machen.

Die Zucker bildende Thätigkeit der Leber, begründet auf das Glycogen und das in der Leber vorkommende sacharificirende Ferment (v. Wittich), geht mit der Galle bildenden nicht Hand in Hand, sodass es wahrscheinlich verschiedene Vorgänge sind, welche diese beiden Hauptprodukte der Leber liefern. Bei niederen Thieren können es sogar verschiedene Organe sein, welche Zucker und Galle liefern (bei Limax flava, Bernard). Die Gallenabsonderung steigt, wie oben angegeben, vom Moment der Nahrungsaufnahme an, die grösste Steigerung findet aber erst 5—7 Stunden später statt. Die Glycogenbildung steigert sich dagegen nach Aufnahme der Nahrung und sinkt zu der Zeit des Maximums der Gallenabsonderung (Bernard).

Nach meinen directen Bestimmungen der täglichen Gallenausscheidung des Menschen wurden ausgeschieden von dem 47 Kilogramm schweren Gallenfistelmanne:

	flüssige Galle sp. G. 1025	feste Galle
Beobachtung I.	405cc = 415 Gramm	11,74 Gramm
- II.	645cc = 661 -	17,34 -
- III.	595cc = 610 -	20,17 -
- IV.	601cc = 616 -	16,74 -
- V.	922cc = 945 -	37,00 -
im Mittel:	**633cc = 652 Gramm**	**20,60 Gramm.**

Die quantitative Zusammensetzung des Lebersekretes war in den 5 beobachteten Fällen folgendermassen, in 24 Stunden in Gramm:

	I. (Minimum)	II.	III.	IV.	V. (Maximum)	**Im Mittel:**
Gallensäuren	6,32	6,88	14,48	9,39	17,54	**11,0**
Fett und Cholesterin	1,67	3,90	0,97	1,76	7,55	**3,2**
Farbstoff und Schleim	2,01	4,24	2,07	2,91	4,32	**3,2**
Asche	1,72	2,32	2,65	2,68	6,59	**3,2**
Summa	11,72	17,34	20,17	16,74	36,00	**20,6**

Auf hundert feste Galle berechnet ist die Zusammensetzung des Lebersekretes in meinen 5 Versuchen in folgender Tabelle zusammengestellt:

	I.	II.	III.	IV.	V.	**Im Mittel:**
	%	%	%	%	%	%
Gallensäuren	53,4	40,0	71,8	54,9	47,4	**53,45**
Fett, Cholestrin	14,2	22,5	4,8	10,5	20,4	**14,48**
Farbstoff, Schleim	17,8	24,1	10,3	19,8	14,4	**17,29**
Asche	14,6	13,4	13,1	14,8	17,8	**14,79**
Summa	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	**100,00**

Am auffallendsten sind unter diesen Ergebnissen die sehr bedeutenden Schwankungen im procentischen Fett- und Cholesteringehalt der verschiedenen Gallenportionen. Es lässt diese Beobachtung auf eine bedeutende Beeinflussung der Zusammensetzung der Galle je nach der Nahrung schliessen, eine Frage, die bisher noch nicht exakt in Angriff genommen worden ist, aber eine Erledigung verdient.

Die Leber des Gallenfistelhundes, an dem Bischoff mit Voit beobachtete, wog nach E. Bischoff 777 Gramm, sie producirte im Mittel nach der obigen Angabe 9 Gramm feste Galle im Tage.

Die Leber eines erwachsenen Menschen wiegt z. B. nach den Wägungen E. Bischoff's bei einem Hingerichteten 1600 Gramm. Da das Lebergewicht unseres Gallenfistelmannes nicht exakt zu bestimmen ist, können wir uns an diese Zahl halten. Es würden demnach im Mittel, gleiche Sekretionsintensität für das gleiche Lebergewicht von Hund und Mensch vorausgesetzt, vom Menschen in 24 Stunden nach der Rechnung 20 Gramm fester Galle ausgeschieden werden. E. Bischoff berechnet die gleiche Grösse für die vom Menschen gelieferte Gallenmenge. Unsere oben mitgetheilte beobachtete Mittelzahl stellt sich, ganz dieser Berechnung entsprechend, auf **20,6** Gramm feste Galle.

Mitwirkung der Galle bei der Verdauung.

Die Einwirkung der Galle bezieht sich vorzüglich auf das Fett. Sie ist von den Wirkungen der meisten anderen Verdauungssäfte auf die Nahrungsstoffe, deren Aufnahme in die Säftemasse sie ermöglichen, wesentlich verschieden. Während wir sonst in einer chemischen Umwandlung der Stoffe — Stärke in Zucker, Eiweiss in Pepton etc. — die Verdauung bestehen sehen, hat die Galle auf die neutralen Fette keine chemische Einwirkung. Sie ist im Stande, eine gewisse Menge neutraler Fette zu lösen, ebenso freie Fettsäuren, wobei sie dieselben an die Alkalien der Gallensäurensalze, welche durch freie Fettsäuren zerlegt werden, bindet und verseift, aber diese Fähigkeit kommt nur in geringerer Weise zur Wirkung, da nur verhältnissmässig wenig Fettsäuren, hervorgehend aus der Fettzerlegung durch Bauchspeichel, im Darm vorhanden sind. Ueber die absoluten Mengen neutraler Fette, welche die Galle in Wahrheit löst, hat man noch keine genügenden Aufschlüsse, jedenfalls ist aber im Hinblick auf die bedeutende Sekretionsgrösse der Galle die Angabe verfrüht, dass auch diese Quantität nur eine relativ sehr geringe sei. Cholesterin und Lecithin lösen sich in Galle gleichfalls.

Wie der Bauchspeichel und der Darmsaft hat auch die Galle die Fähigkeit zur staubförmig feinen Vertheilung der Fette, aber in geringerem Grade als die genannten Sekrete. Unter dem Mikroskope zeigen sich die nach längerem

Schütteln von Oel mit Galle entstandenen Fetttröpfchen meist noch ziemlich viel grösser als die Zellen des Darmepithels.

Die wichtigste Eigenschaft der Galle für die Fettverdauung scheint darin zu bestehen, dass sie sich mit Fett sowohl als mit Wasser zu mischen vermag. Dadurch, dass sie in den Darm ergossen, in die Schleimhaut eingesaugt wird und die feinen, kapillaren Oeffnungen der Darmzotten erfüllt, bahnt sie den Weg für den Fetteintritt. So lange die Zellenmolekularöffnungen nur mit Wasser oder mit einer wässerigen Lösung durchtränkt werden, wie es ja sonst alle thierischen Gewebe sind, so lange kann Fett sich nicht in sie nach den für das lebende Protoplasma geltenden modificirten Gesetzen der Endosmose einsaugen, da sich das Fett nicht mit Wasser zu mischen vermag. Erfüllt aber an Stelle des Wassers eine Gallenlösung die genannten Molekularöffnungen, so kann das Fett, indem es sich mit Galle mischt, eindringen (Wistinghausen, H. C. Williams). Das Experiment ist an zwei Papierfiltern zu machen, von denen man das eine mit Wasser, dass andere mit Galle tränkt: das erstere ist für Oel ganz undurchgängig, während das zweite dem Oele den Durchtritt gestattet. Es ist sonach die Wirkung der Galle auf das Fett eine vorwiegend mechanische. Williams fand, dass ausser Galle auch alkalische Reaction den Durchgang von Fett durch capillare Poren befördert, während saure Reaction störend wirkt.

Auch für die Eiweissverdauung hat die Galle einen indirecten Nutzen.

Die Galle hat die Eigenschaft, Lösungen von Eiweissstoffen in sehr verdünnter Salzsäure: Syntonin oder Parapepton so wie die eigentlichen Peptone und das Pepsin zu fällen (Bernard) (cf. oben S. 297). Es schlägt die Eiweissstoffe an die Darmwand nieder, die hier angeklebt den verdauenden Einwirkungen der anderen Darmsekrete: Bauchspeichel und Darmschleim, für längere Zeit ausgesetzt bleiben, so dass sie besser verdaut, ausgenützt werden können. In schwachen Alkalien löst sich der Niederschlag durch die Galle wieder auf. Diese fällende Wirkung kann die Galle also nur im Magen und oberen Theil des Darms, wo, wie oben angegeben, noch saure Reaktion des Inhaltes herrscht, ausüben. Da das Pepsin durch eine Spur Galle schon niedergeschlagen wird, so wird durch Eintritt von Galle in den Magen die normale Verdauung gestört (S. 297).

Es wurde von Nasse für die Schweinegalle nachgewiesen, dass sie aus Stärke Zucker bilden könne. J. Jacobson, v. Wittich, Kühne haben diese sacharificirende Wirkung der Galle, beruhend auf einem Gehalt an dem Ptyalin analogem diastatischem Ferment, bei verschiedenen Repräsentanten der Wirbelthierklassen (namentlich für Rindergalle) festgestellt, v. Wittich auch für frische, aus einer Gallenblasenfistel gewonnene Menschengalle. (Trypsin und Pepsin fehlen der Galle, Kühne.)

Es wird nur ein kleiner Theil der Galle mit dem Koth ausgeschieden, während eine so bedeutende Menge in den Darm gelangt, die Galle wird also im Darm zum grössten Theil wieder resorbirt, oder umgewandelt und zerstört.

Die Galle verhindert nach mehrfachen älteren Experimentalangaben (cf. unten) im Kothe die faulige Zersetzung, was neuerdings bezweifelt werden will.

In das Blut aufgenommen (bei Icterus), stört sie namentlich in den Nerven und Muskeln die normalen Stoffwechselvorgänge, auf denen die mechanischen Leistungen der Organe beruhen. Die Bewegungen des Herzens sind es zuerst, die unter dieser Gallenwirkung leiden, sie werden verlangsamt (Röhrig). Das frische Lebersekret zeigt aber im Blute keine solche Einwirkungen (J. Ranke). Schiff behauptet, dass die Galle die Contraction der Darmzotten anrege (cf. unten).

Historische Bemerkungen. — Die Leberzellen entdeckten Dutrochet, Purkinje und Henle (1838). Bis in die neueste Zeit wird die Diskussion über den Bau der Leber fortgeführt, die, wie es scheint, durch die oben citirten Untersuchungen von Hering entschieden wurde. Der Harnstoff in der Leber wurde zunächst von Heynsius, der Zuckergehalt von Cl. Bernard 1853 nachgewiesen. Heynsius (1856), Lehmann, v. Becker haben in Deutschland Bernard's Angaben bestätigt und erweitert. Auch in England und Frankreich rief die Bernard'sche Entdeckung eine reiche Literatur hervor. Eug. Pélouze gab die Elementaranalyse des Glygogens, das zuerst Bernard 1857 aus der Lebersubstanz darstellte, dessen Existenz er schon früher behauptet hatte. Die erste sehr genaue Beschreibung der kleinsten Blutgefässe in der Leber lieferte 1834 der Engländer Kiernan, später Theile, Gerlach, Kölliker u. v. A. Die Muskulatur der Lebervenen fand 1855 Bernard, Remak bestätigte die Beobachtung noch in demselben Jahre. Beale hat zuerst die Lymphgefässe der Leber direct injicirt.

Die Untersuchung der Leberthätigkeit und der Galle trat durch die Anlegung von Gallenfisteln in ein neues Stadium, da bis dahin nur Blasengalle zur Untersuchung zu Gebot stand. Schwann beschreibt 1844 die erste von ihm beim Hund angelegte Gallenfistel. 1846 bestimmte Blondlot auch an einer Gallenfistel des Hundes die Menge der im Tage secernirten Galle und berechnete daraus für den Menschen 200 Gramm im Tage. Zu höhern Ziffern kamen Bidder und Schmidt mit ihren Schülern (Stackmann und Schellbach) 1849 und 1850. Weiter sind hier zu nennen die Untersuchungen von Lehmann, Nasse, Kölliker und H. Müller, Bischoff, Voit u. A. Durch die permanenten Gallenfisteln wurden auch sichere Gesichtspunkte über die Wirkung der Galle gewonnen. Blondlot und Schwann gelang es zuerst, Hunde mit Gallenfisteln längere Zeit am Leben zu erhalten; Nasse bemerkte, dass der von ihm operirte Hund sehr gefrässig wurde. Die Gallenfistelhunde waren stets sehr abgemagert, so dass man im Zusammenhalt der Abmagerung mit der gesteigerten Fressbegierde eine unvollkommene Absorption eines oder mehrerer wichtiger Nahrungsstoffe im Darm vermuthen musste. Analog waren die Verhältnisse bei meinem Gallenfistelmann. Schon früher war auf den Nutzen der Galle für die Fettverdauung hingewiesen worden (Haller), man hatte beobachtet (Tiedemann und Gmelin), das dem Chylus die weisse Farbe fehlt, die von dem Fettgehalt desselben herrührt, wenn die Galle nicht in den Darm treten kann, ein Resultat, welches sich übrigens auch auf den gleichzeitigen Ausfall der Pankreassekretion mit beziehen mag. Schellbach und Lenz gelang es, gestützt auf die vorhergehenden Versuche von Boussingault und Nasse über das Maximum der Fettverdauung bei gesunden Thieren, nachzuweisen, nicht nur dass eine grössere Nahrungsmenge erforderlich ist für die Erhaltung der Gallenfistelhunde, sondern dass auch das Maximum der aufnehmbaren Fettmenge bei denselben sehr bedeutend herabsinkt. Lenz (1851) arbeitete wie Schellbach (cf. oben) unter Leitung von Bidder und Schmidt. Die gesteigerte Gefrässigkeit der Hunde mit Gallenfisteln, die nach dem Gesagten nur eine geringe Quantität Fett aufnehmen können, sich sonach von Fleisch und Kohlehydraten erhalten müssen, ergibt sich mit Nothwendigkeit aus den Ernährungsgesetzen. Lenz wies nach, dass Fettsäuren durch Galle gelöst werden, was bei der Fähigkeit des Pankreassaftes zur Fettzerlegung wichtig wird. Von Bidder und Schmidt mit v. Wistinghausen wurden die oben angegebenen Einflüsse der Galle auf die Fettresorption entdeckt. Den fauligen Geruch des Darmsaftes der Gallenfistelhunde bei Fleischgenuss, die stark saure Reaktion bei vegetabilischer Nahrung bemerkte Valentin. Die Aufsaugung der gallensauren Alkalien im Darm hat Liebig

aus der Asche der Faeces erschlossen. FRERICHS und neuerdings KÜHNE nahmen dagegen nur eine Umwandlung der Galle in mehr unlösliche Produkte an, wogegen SCHELLBACH, LEHMANN, E. BISCHOFF auf der LIEBIG'schen Lehre beharren.

Auf die Untersuchungen von STRECKER im LIEBIG'schen Laboratorium in Giessen basiren unsere Anschauungen über die qualitative Zusammensetzung der Galle. Die früheren Chemiker hatten je nach den verwendeten Methoden verschiedene Resultate erhalten. BERZELIUS (1807) nannte den Hauptbestandtheil der organischen Stoffe der Galle: »Gallenstoff«. THENARD (1806) zerfällte diesen nach einer anderen Methode in »Gallenharz« und Picramel. Ausserdem fand GMELIN in der Galle noch: Cholesterin, Oelsäure, Salzsäure, Cholsäure, Taurin etc. BERZELIUS machte darauf aufmerksam, dass die Bestandtheile der Galle sich unter dem Einfluss verschiedener Reagentien in verschiedener Weise zersetzen. DEMARÇAY behauptete 1838, dass die Hauptmasse der Galle eine seifenartige Verbindung sei einer eigenthümlichen Säure, »Gallensäure« (acide cholique), mit Natron. Noch 1840 schliesst sich BERZELIUS ziemlich nahe den Ergebnissen der GMELIN'schen Untersuchungen an, wenn auch die Bezeichnungen der gefundenen Stoffe verschiedene sind, z. B. Bilin für Picramel etc. Dagegen geht LIEBIG (1843) von der Untersuchung DEMARÇAY's aus. Er hält wie dieser die Galle der Hauptmasse nach für eine seifenartige Verbindung der »Gallensäure« (um nicht durch Nomenklatur zu verwirren, nennen wir den deutschen Namen) mit Natron, deren Zerlegbarkeit in Taurin, Ammoniak und eine neue Säure er fand. Die Unterscheidung der beiden Gallensäuren in der Galle gehört zu STRECKER's Verdiensten. Die Gallenfarbstoffe wurden schon gut von BERZELIUS beschrieben.

Wie J. MÜLLER berichtet, hat WERNER zuerst beobachtet, dass Galle zu Blut gesetzt eine Auflösung des Blutroths im Serum bedingen soll. HÜHNEFELD machte die Beobachtung, dass die Galle (Bilin, gallensaure Alkalien zum Theil) die Blutkörperchen löse, was in der neueren Zeit vielfach bestätigt wurde. KÜHNE denkt daraus schliessen zu dürfen, dass in der Leber Blutkörperchen zerstört werden, deren Farbstoff den Gallenfarbstoff erzeugen könnte.

An Gallenfisteln bei dem Menschen wurde vor mir keine Beobachtung über die secernirten Gallenmengen veröffentlicht.

Fig. 74.



Darm eines Hundeembryo von unten vergr. dargestellt. Nach BISCHOFF. *a* Kiemen- oder Visceralbogen, *b* Schlund u. Kehlkopfanlage, *c* Lungen, *d* Magen, *f* Leber, *g* Wände des Dottersackes, in den der mittlere Theil des Darmes noch weit übergeht, *h* Enddarm.

Zur Entwickelungsgeschichte. — Die Leber (KÖLLIKER) tritt bei den Säugethieren (und Menschen) in der dritten Embryonalwoche auf, zunächst nach der Anlage des WOLFF'schen Körpers (cf. Niere). Bei dem Hühnchen zeigt sich die Leber schon in der ersten Hälfte des dritten Brüttags angelegt. Nach BISCHOFF stellt die erste von ihm zweimal beobachtete Anlage der Leber bei Säugethieren (Hunden) eine kleine doppelte Ausbuchtung der beiden Wandungen des Duodenums dar (Fig. 74). Bei Kaninchen bemerkte KÖLLIKER, dass beide Leberanlagen sich nicht gleichzeitig bilden. REMAK beobachtete, wie vor ihm v. BAER und J. MÜLLER, dass sich wie beim Hund die erste Leberanlage auch beim Hühnchen bildet, als zwei Blindsäckchen, welche unmittelbar hinter der Anlage des Magens aus der vorderen Wand des Duodenums herabsprossen, zusammengesetzt aus der Darmfaserplatte und dem Darmdrüsenblatt (Epithelcylinder). Nach J. MÜLLER verdickt sich rasch die Wandung der Leberanlage sehr bedeutend, sie wächst überhaupt sehr energisch, umfasst mit ihren beiden Lappen die Vena omphalo-mesenterica, welche vom Dottersack zum Herzen geht. Aus dieser Vene entwickeln sich reiche Blutgefässe in die Leber hinein. Schon in der vierten Woche ist die Leber des Menschen ein grosses, blutreiches Organ, das mit zwei anfänglich gleich grossen Lappen die ganze Breite der Bauchhöhle hinter und vor dem Herzen

und vor dem Magen und den Wolff'schen Körpern einnimmt. Am Ende des dritten Monats nimmt die zu einem kolossalen Organe herangewachsene Leber fast die ganze Unterleibshöhle ein. Erst in der zweiten Schwangerschaftshälfte beginnt ein geringes Zurückbleiben der Leber im Wachsthum, welches den linken Lappen mehr trifft als den rechten; ersterer erscheint nun etwas kleiner. Nach der Geburt, mit Wegfall der Blutzufuhr von Seite der Umbilikalvene, tritt primär eine rasche Verkleinerung der Leber ein (cf. unten: Leberprobe), auf welche aber bald wieder eine Volumzunahme folgt. Durch Wachsthum der aus der Darmfaserschicht abstammenden Faserschicht der Leberanlage, zu welcher die aus der Vena omphalo-mesenterica wuchernden Gefässe kommen, bildet sich die äussere Form der Leber, ihre Massenanlage beim Hühnchen aus (Remak). Dagegen entwickeln sich von dem Epithel der primitiven Lebergänge (dem Darmdrüsenblatt) aus solide Sprossen in die Faserschicht hinein, Remak's Lebercylinder. Die Bildung der Drüsenparenchyms der Leber (Leberzellen etc.) schreitet dann zunächst nach dem Schema der Bildung der traubenförmigen oder tubulösen Drüsen fort, an welche sich die Leber ja auch im erwachsenen Zustand anschliesst, wie uns die neuesten Erforschungen (Hering) gelehrt haben. Die soliden Lebercylinder wuchern weiter, verästeln und verbinden sich (es ist das der Leber eigenthümlich) durch Anastomosen. So entsteht zwischen den Blutgefässen eine Netzbildung der Lebercylinder; schon am fünften oder sechsten Tag sind bei dem Hühnchen alle freien Enden der Lebercylinder verschwunden und diese in der Netzbildung aufgegangen. Ein analoges Bild fand Kölliker bei einem menschlichen Embryo von 7 Wochen. Die anastomosirenden Lebercylinder entsprechen sonach den feinsten Drüsencanälen anderer Drüsen; durch die Beobachtungen Hering's wissen wir nun auch, dass sie in der Folge im Innern, wenn auch sehr zarte, Höhlungen (Gallenkapillaren) erhalten, wie jene. Auch die Gallengänge entwickeln sich nach dem Typus der Ausführungsgänge der traubenförmigen Drüsen durch primär solide, später sich aushöhlende astförmige Sprossung. Die primitiven Gallengänge sind die Ductus hepatici. Der Ductus choledochus entwickelt sich vielleicht (Kölliker) durch ein secundäres Hervorwuchern der Einmündungsstelle der beiden primitiven Gänge. Die Gallenblase entsteht (beim Hühnchen) als eine hohle Aussackung des rechten primitiven Leberganges. Bei Säugern ist sie schon im zweiten Monat vorhanden.

Sicher ist die Leber schon für das Embryonalleben von grösster Wichtigkeit, wie vor Allem die grosse Menge Blut beweist, welche dieselbe durchströmt. Die Gallensekretion kann ihr diese Bedeutung gewiss nicht geben; wir werden wichtige Umwandlungen des Blutes (cf. Blutbildung) in ihr vermuthen müssen. Die Gallensekretion tritt schon während des dritten Fötalmonats bei dem Menschen auf, erreicht aber vielleicht keine hohe Entwickelung. Gegen die Meinung, dass die Hauptmasse im Darm wieder zur Resorption bestimmt ist, scheint zu sprechen, dass bei dem Fötus die Galle im Darm sich anhäuft. Im dritten bis fünften Monat findet sich eine gallenähnliche Materie im Dünndarm, die vor der Geburt bis zum Mastdarm die Därme erfüllt: Meconium, Kindspech S. 332. Die Gallenblase füllt sich vom sechsten Monat an mit Galle.

Zur vergleichenden Anatomie und Physiologie. — Die Formen der Leber bieten bei Wirbelthieren und Wirbellosen eine grosse Reihe von Verschiedenheiten dar, die sich jedoch, wie es scheint, alle aus den im Vorstehenden geschilderten Stadien der Entwickelungsgeschichte beleuchten lassen. Im Allgemeinen sehen wir primär die Aussackung des Darmrohrs, aus der sich dann Schläuche bilden, die dann mit einander in Communication treten und dadurch ein Gewebe herstellen, das mehr oder weniger dem der entwickelten Menschenleber entspricht. Im Allgemeinen ist vorauszuschicken, dass Hoppe-Seyler darauf hinweist, es seien bis jetzt in den »Lebern« der Wirbellosen Gallefarbstoff und Gallensäuren noch nicht aufgefunden. Er bezweifelt daher, ob man die betreffenden Organe mit Recht als Lebern bezeichne. Auch der Amphioxus lanc. habe keine Galle. Anders ist es mit Glycogen.

Zuerst sind zu nennen eine Anzahl von Thieren, bei denen die »Leberzellen« sich unmittelbar in der Magen- und Darmwand finden. Dieses Verhalten zeigt sich bei dem niedersten Wirbelthiere (Branchiostoma lubricum = Amphioxus lanceolatus (J. Müller). Hier führt die

Speiserohre in einen weiteren Theil des Darms, der in seiner inneren Wand die mit braungruner Masse (Galle?) gefullten Zellen trägt, die mit einer scharfen Grenze gegen die übrige Schleimhaut sich absetzen. Analog bei mehreren Arthropoden (z. B. Larven von Myrmecoleon formicarius), Rotatorien, Ringelwürmern (Nais, Lumbricus) (LEYDIG). Nach der Beschreibung LEYDIG's ähnelt die Anlage des Darmepithels und der Leberzellen bei den Lumbricinen der Beschreibung, die ROLLETT und HEIDENHAIN neuerdings von den Labdrüsen gegeben haben. Das Lumen des Darmrohrs wird von einer farblosen Zellenschicht ausgekleidet. Hinter diesen, durch sie vom Lumen des Darms getrennt, liegt die Schicht der »Leberzellen«.

Von den wirbellosen Thieren besitzen Krebse, Arachniden und Mollusken eine selbständig vom Darm getrennte Leber, immer besteht sie aus der bindegewebigen Grundlage mit Sekretionszellen, der embryonalen Anlage bei dem Menschen entsprechend. Einerseits ist die Leber aus wenigen kürzeren, unverzweigten Blindsäcken zusammengesetzt (Entomostraca, Phyllopoden). Ihre spärlichen Blindsäcke verlängern sich entweder zu langen Schläuchen (Isopoden, Amphipoden, unter den Mollusken bei Cressis) oder sie verästeln sich, ohne zu anastomosiren, und werden sehr zahlreich wie bei den Cyrripedien und höheren Krebsen. Hierher gehören die Lebern der Bivalven, mancher Gasteropoden und Heteropoden. Dadurch, dass die verästelten Leberfollikel anastomosiren, entstehen andererseits Leberbildungen, die an die Leber der (höheren) Wirbelthiere erinnern (Limax, Paludina vivipara und andere Gasteropoden, noch mehr bei Thetys, Doris etc.) (LEYDIG). Von allgemeinem Interesse sind auch die Muskellagen, welche LEYDIG sowohl im Bauchfellüberzug der Leber als auch an den Leberfollikeln bei Paludina aufgefunden hat. Um die Leberschläuche mancher Krebse (Oniscus, Gammarus etc.) verlaufen sie zumeist in regelmässigen Circulärlagen. In der Leber von kleineren Crustaceen, Mollusken, konnte P. PICARD kein Glycogen resp. Zucker nachweisen. Dagegen fand er in der Leber des Hummer 0,4—0,5, in der von Krabben 0,3, vom Tintenfisch 0,2 % Glycogen. Auch bei anderen wirbellosen Thieren: Echinodermen, Schwämmen, Polypen war Glycogen nachweisbar.

Unter den Wirbelthieren ist bei dem schon oben erwähnten Amphioxus neben dem »Leberzellen« tragenden Theile der Darmschleimhaut noch ein auch als Leber zu deutender Blindschlauch des Darmrohrs vorhanden (J. MÜLLER), der mit denselben Zellen ausgekleidet ist. Entsprechend der doppelten Anlage der Leber (cf. Abbildung) bei dem Embryo erhalten sich bei den Myxinen beide Hälften von einander getrennt. Bei manchen Fischen und den Schlangen zeigt sich dagegen gar keine Lappenbildung. Entsprechend der embryonalen Duplicität der Gallengänge sehen wir bald diesen Zustand fortbestehen, oder es bildet sich wie bei dem Menschen und einzelnen Säugern ein einfacher Gang zum Darmrohr, oder es treten Rückbildungen der primären Ausführungsgänge ein, wodurch Canäle zweiter Ordnung zu Ausführungsgängen werden, die dann in grosser Zahl auftreten (GEGENBAUR). Zwei Ductus hepato-enterici finden sich in der Regel bei den Vögeln, wovon dann einem die Gallenblase angefügt ist. Wo mehrfache Ductus hepato-enterici vorhanden sind, da bilden diese oft Maschennetze unter einander (Schlangen, Eidechsen). Die Gallenblase tritt als einseitige Aussackung irgend eines der Gallengänge auf und nicht als konstantes Gebilde. Sie fehlt einer Anzahl von Thieren; unter den Säugethieren gehören hierher die Einhufer, ferner die Hirsche, Kameele, Elephanten, Nashorn, Hamster, viele Mäusearten, Castor, Tardigraden, Walthiere. Das Fehlen zeigt sonach keine Gesetzmässigkeit. Beim Pferd und Elephant sind die Ausführungsgänge der Leber sehr erweitert. Unter den Vögeln fehlt die Gallenblase dem Papagey, Kukuk, Strauss, Taube, Haselhuhn. Unter den Fischen fehlt sie der Lamprete (J. MÜLLER). Bei den Teleostiern stellt sie einen langen Blindcanal dar. Sie kann auch in der Lebersubstanz verborgen sein (GEGENBAUR).

Bei Selachiern und anderen Fischen ist die Leber ganz ungemein fettreich, so dass bei diesen Thieren die Fettbildung die Hauptfunction der Leber scheint. Wenn man in die frische Leber der Chimaera monstrosa Einschnitte macht, so sammelt sich in ihnen sogleich das Fett an. Bei dem Stör wechselt reichliche Fettfüllung der Zellen mit Fettarmuth, wobei die Leberzellen nur feine Punktmassen enthalten. Nach LEYDIG's merkwürdiger Beobachtung

scheint die dann sehr fettreiche »Leber« von Paludina vivipara, wenn sie sich im Monat November zum Winterschlaf vorbereitet, Fett in den Magen abzusondern, so dass eine gewisse Analogie der Leberabsonderung dieser Schnecke mit der Absonderung der Talgdrusen zu Tage tritt. Es ist bekannt, dass durch reichliche Nahrungszufuhr und mangelnde Muskelbewegung im Allgemeinen Fettreichthum der Leber eintritt (bei Gänsen etc.). P. Picard konnte sowohl bei Knochen- als Knorpelfischen Glycogen resp. Zucker in der Leber nachweisen, bei ersteren 1,1—6,4 %, bei letzteren 0,3—1,6 % des Lebergewichts.

In der Menschengalle wechselt das Verhältniss der Menge der beiden Gallensäuren zu einander offenbar in weiten Grenzen. v. Gorup-Besanez fand in ihr reichlich taurocholsaures Natron, dagegen E. Bischoff, Lossen und ich vorwiegend glycocholsaures Natron und dem entsprechend einen geringen Schwefelgehalt der Menschengalle. Die Hundegalle soll nur taurocholsaures Natron enthalten (Hoppe-Seyler), die Känguruh-Galle fast nur glycocholsaures Natron (Schlossberger), wenn hier die Gallensäure nicht, wie oben vom Schwein (und der Gans) angegeben, eine eigene Modifikation zeigt. Die übrigen untersuchten Gallen von Säugethieren zeigen sich, wie es scheint, aus beiden Gallensäuren gemischt. Dagegen scheint die Schlangengalle nur aus taurocholsaurem Natron zu bestehen (Schlossberger). Die Galle der Fische enthält auch vorwiegend Taurocholsäure, diese ist bei den Seefischen nicht mit Natron, sondern mit Kali verbunden. Während bei den Säugethieren das Kali in der Gallenasche sehr zurücktritt, findet sich auch bei den Süsswasserfischen und Schildkröten Natron neben mehr Kali. Diese wechselnde Vertheilung ist sehr merkwürdig, da sie den Ernährungsbedingungen entgegengesetzt ist, welche gerade den Seefischen so reichlich Natron zuführen.

Ueber die in 24 Stunden von 1 Kilogramm Thier abgesonderten Gallenmengen gibt folgende kleine Tabelle Aufschluss:

1 Kilogramm:	secernirt in 24 Stunden Galle:			
	feucht	trocken		
Mensch (direct bestimmt)	14,0	0,44	Gramm	J. Ranke
Kaninchen (berechnet)	136,8	2,47	-	-
Meerschweinchen -	164,0	3,28	-	-
Hund (berechnet) . . .	20,0	0,98	-	Bidder und Schmidt
Katze - . . .	14,5	0,82	-	- -
Schaf - . . .	35,4	1,34	-	- -
Gans - . . .	11,8	0,82	-	- -
Krähe - . . .	72,1	5,26	-	- -

Zur ärztlichen Untersuchung. — Die Veränderung des Lebergewichts nach der Geburt (S. 330) hat zur Aufstellung der sogenannten »Leberprobe« der gerichtlichen Medicin geführt, die aber bei den stattfindenden grossen Schwankungen im Lebergewichte und in dem Verhältniss zum Körpergewichte sehr wenig entscheidende Aufschlüsse geben kann. Das Verhältniss des Lebergewichts zum Körpergewichte ist am Ende der Schwangerschaft 1 : 18, bei Erwachsenen 1 : 36, beim Neugeborenen 1 : 20. — Das oben erwähnte Kindspech, Meconium, ist ein Gemisch verschiedener Sekrete, und zwar der Leber, der Bauchspeicheldrüse, der Darmschleimhaut, gemischt mit Vernix caseosa von der Embryohaut, welche vom Embryo mit dem Fruchtwasser eingeschluckt wird. Daher stammen auch die von Förster nachgewiesenen Epidermisplättchen, Härchen und Fettkügelchen. Zweifel fand den Wassergehalt des frischen Meconiums zu 80 %, Asche 1 %, Fett 0,8 %, ebensoviel Cholesterin. Von Gallenbestandtheilen lassen sich Gallensäuren, Farbstoff (Biliverdin und Bilirubin) und Cholesterin nachweisen; ausserdem Mucin, Spuren von Ameisensäure und höheren flüchtigen fetten Säuren, sowie nichtfluchtige fette Säuren. Das Meconium reagirt schwach sauer. Die Asche des Meconiums fand Zweifel in einem Falle in Procenten zusammengesetzt aus: unlöslicher Substanz 2,1, phosphorsaures Eisenoxyd 3,41, Schwefelsäure 23,0, Chlor 2,53, Phosphorsäure 5,44, Kalk 5,7, Magnesia 4,0, Kali 8,6, Natron 41,0. Gase soll der Embryonaldarm nicht enthalten.

Bei Krankheiten findet man hier und da die Gallenabsonderung ganz unterdrückt, wenn diese mit starker Reduction der Blutmasse Hand in Hand gehen, wie bei Typhus, überhaupt im späteren Verlauf fieberhafter Krankheiten. Ich u. A. fanden, dass in solchen Fällen der schleimige Gallenblaseninhalt weder Gallenfarbstoff noch Gallensäuren enthalte. E. RITTER konnte in einigen Fällen solcher schleimiger Galle zwar keinen Gallenfarbstoff, wohl aber Gallensäuren und Cholesterin nachweisen. Bei Blutungen cessirt ebenfalls die Gallenabsonderung gänzlich oder wird mehr oder weniger vermindert, wie mir direct darauf gerichtete Versuche an Gallenfisteln gelehrt haben. Bei Cholera, Morbus Brightii (Nierenexstirpation bei Thieren) findet sich in der Galle Harnstoff; in saurer Galle fand man Milchsäure; bei Typhus: Leucin und Tyrosin; bei Diabetes mellitus soll sich Zucker in der Galle finden; hier und da Blut, Eiter. Antimon-, Arsenik-, Kupfer-, Blei- und Quecksilbersalze, Jodkalium, Ferrocyankalium, gehen, in den Körper eingeführt, in die Galle über. Diese Stoffe finden sich dann auch im Lebergewebe selbst. Durch Einspritzungen von Indigschwefelsäure in die Venen geht dieser Stoff in Galle und Harn über, in die Galle unter den gleichen Bedingungen auch Traubenzucker. Wird sehr viel Wasser in die Venen injicirt, so wird Galle und Harn eiweisshaltig. Besonders häufig findet man in der Leber Leucin und Tyrosin, das man früher für charakteristisch bei akuter Lebererweichung angesehen hatte. Während der Fettgehalt der Leber normal etwa zwischen 2—3—5 % schwankt, steigt er bei Fettleber bedeutend (FRERICHS, BIBRA). Bei Diabetes mellitus ist der Zuckergehalt der Leber vermehrt. Man glaubte früher, dass sich die oben genannten schweren Metalle und namentlich auch das Quecksilber in der Leber im Körper fixirten. Nach Sublimatschmierkuren habe ich noch Wochen und Monate nach der Einreibung nicht nur in der Leber, sondern vor Allem in den Lymphdrüsen des Darms, in den Nieren, Gehirn, Rückenmark und peripherischen Nerven (Brachialis), Milz am wenigsten, aber doch sicher vorhanden, in den Stammmuskeln und dem Herzen Quecksilber nachweisen können (Knochen, Knochenmark und Haut wurden leider nicht untersucht), so dass der ganze Körper, vor Allem Nervensubstanz und Drüsen, noch unter der Quecksilberwirkung gestanden hatten.

Einführung von Abführmitteln in den Darm sowohl als in die Venen (A. RÖHRIG) steigert bei Kaninchen die Gallenabsonderung. Ebenso Wasserinjectionen in den Darmcanal wie in die Venen S. 324. Nach Einnahme von Calomel und Quecksilberchlorid zeigt sich nur die Wasserabgabe in der Galle gesteigert (SCOTT, BENNETT u. A.). Steigernd wirken auf die Gallesekretion Resina podophylli, Aloe, Rhabarber, Colchicum, weniger Senna, noch weniger: Scamonium, Taraxacum, Gummigutt (RUTHERFORD und VIGNAL).

Um Galle nachzuweisen, bestimmt man meist nur den Gallenfarbstoff (Bilirubin) qualitativ, z. B. im Harn bei Icterus (cf. Harnfarbe). Mit rauchender Salpetersäure versetzt, geht durch Oxydation der Farbstoff zuerst in eine grüne (Biliverdin), dann blaue, violette, rubinrothe und endlich schmutzig-gelbe Modification über. Um eine Flüssigkeit auf Gallenfarbstoff zu prüfen, bringt man davon etwa einen Zoll hoch in ein Probirröhrchen; während man dieses nun stark neigt, giesst man vorsichtig, damit sich die beiden specifisch verschieden schweren Flüssigkeiten möglichst wenig mischen, etwas concentrirte Salpetersäure zu, die auf den Boden des Gläschens sinkt. An der Grenze der beiden Flüssigkeiten treten dann, wenn Gallenfarbstoff vorhanden ist, die genannten Regenbogenfarben auf: GMELIN'sche Probe. Sehr häufig bildet sich auch bei nicht gallenhaltigen Harnen ein rother Ring an der Grenze der wie oben zugegebenen Salpetersäure. Man darf einen Gallenfarbstoffgehalt (Bilirubin) nur annehmen, wenn auch Grün und Blau mit Roth sichtbar ist. Sputa, Erbrochenes etc. prüft man auf Gallenfarbstoff ebenso direct wie den Harn.

Prüfung auf Gallensäuren. Flüssigkeiten, die grössere Mengen von Galle enthalten, kann man direct mit der PETTENKOFER'schen Probe darauf untersuchen, z. B. galliges Erbrochene, dagegen fast niemals Harn. Die Probe stützt sich darauf, dass bei Behandlung einer Cholsäurelösung mit etwas Rohrzuckerlösung und concentrirter Schwefelsäure sich die Mischung unter freiwilligem Erwärmen tief purpurroth färbt. Am besten bringt man zuerst etwas Schwefelsäure in ein Probirröhrchen, dann darauf die Lösung der gallensauren

Salze und zuletzt etwas (wenig) Zuckerlösung. Nun schüttelt man, und die rothe Färbung tritt auf das Schönste auf auch bei geringem Gehalt an Gallensäuren. Schenk fand, dass die rothe Lösung der Gallensäuren im Spectroskop in alkoholischer Lösung constant einen Streifen bei *F* und einen anderen bei *E* zeigt. frische Galle zeigt auch einen Absorptionsstreifen zwischen *C* und *D*, welcher verschwindet, wenn man die Galle durch Thierkohle vom Farbstoff befreit hatte. Die beiden genannten Absorptionsstreifen unterscheiden die Pettenkofer'sche Reaktion von ähnlicher Reaktion mit Albuminaten, Oelsäure, Amylalkohol etc.).

Nach Neukomm bringt man die verdünnten Flüssigkeiten: je ein Tropfen Gallenlösung, verdünnte Schwefelsäure und Zuckerlösung auf einen Porzellanscherben, rührt sie zusammen mit einem Glasstab und verdunstet nun bei gelindester Wärme (auf kleinster Flamme, unter häufigem Wegziehen, sowie die Hitze sich steigert, und Blasen auf die verdunstende Flüssigkeit) zur Trockne; es tritt dann eine Rothfärbung des Rückstandes ein, wenn Spuren von Gallensäuren vorhanden waren. Hat man nur geringe Mengen zur Verfügung, so ist diese Methode der Pettenkofer'schen vorzuziehen. Eiweiss färbt sich unter denselben Bedingungen roth. Geringe Mengen von Gallensäuren hat man meist im Alkoholauszug der Flüssigkeiten, nachdem man diesen noch durch Aether entfettet, aufzusuchen.

Der Nachweis des Cholesterins geschieht mittelst des Mikroskops, das die charakteristischen Cholesterintafeln zeigt (cf. Abbildung S. 319). Makro- und mikrochemisch kann man es nachweisen nach der Methode von J. Moleschott. In einem Gemisch von 5 Raumtheilen concentrirter Schwefelsäure und destillirten Wassers (man setzt die Schwefelsäure tropfenweise zum Wasser!) färben sich die Ränder der Cholesterintafeln carminroth; die Krystalle werden mehr oder weniger zerstört; an der Luft geht die Farbe in 2 Stunden in Violett über, nach 6 Stunden ist sie verschwunden.

Für die ärztliche Untersuchung sind die **Gallensteine** von besonderer Wichtigkeit, die nach Gallensteinkoliken im Kothe gefunden werden und allein die Diagnose absolut feststellen. Sie haben dann dem Durchmesser der Gallengänge entsprechende Dimensionen. In der Gallenblase kommen oft sehr grosse einzelne Steine vor oder sehr viele kleinere, die sich durch gegenseitiges Abreiben polyedrisch facettiren. Sie zeigen sich krystallinisch oder schalig angeordnet oder nicht krystallinisch, beidemale verhältnissmässig wenig gefärbt (der Hauptmasse nach Cholesterin). Manche sind dagegen sehr dunkel gefärbt: schwarz, dunkelgrün, dunkelrothbraun (Bilirubinkalk). Selten bestehen Gallenkonkretionen vorzugsweise aus anorganischen Salzen: phosphorsaurem und kohlensaurem Kalk. Gallensäuren können ziemlich regelmässig in ihnen nachgewiesen werden. Nach v. Gorup-Besanez verfährt man zur chemischen Analyse der Gallensteine nach folgendem Schema:

1. Die Probe, die man sich durch Abschaben einer geringen Menge des Steines verschafft hat, verbrennt auf dem Platinblech, über der Gas- oder Weingeistflamme erhitzt, mit hellleuchtender Flamme. Sie ist wenig gefärbt und besitzt deutlich krystallinisches Gefüge oder ist schalig und nicht krystallisirt, ist in heissem Alkohol löslich, krystallisirt daraus beim Erkalten in perlmutterglänzenden Blättchen, die unter dem Mikroskop (man überlässt dazu einen Tropfen der alkoholischen Lösung auf dem Objectglas der freiwilligen Verdunstung) die bekannte Gestalt der Cholesterinkrystalle zeigen, Cholesterin. Man konstatirt es mit der Moleschott'schen Cholesterinprobe (cf. oben).

2. Die Probe besitzt eine dunkle Farbe, ist bröckelig, ockerartig und verbrennt mit thierischem Geruch:

a) in Alkohol und Wasser wenig löslich, löslich in Kali mit dunkelbrauner Farbe. Die Gmelin'sche Probe (cf. oben) weist Gallenfarbstoff nach.

b) in warmem Alkohol löslich. Man verdunstet die alkoholische Lösung und behandelt den Rückstand mit Wasser. Die so entstandene wässerige Lösung gibt die Pettenkofer'sche und Neukomm'sche Probe (cf. oben).

Auf einen Gehalt an Gallensäuren prüft man stets auf diese Weise auch die anderen Steine, indem man den Rückstand des Alkoholauszugs mit Wasser behandelt, die entstandene

Losung durch ein kleinstes Filter abgiesst und nun pruft. So konnte ich in allen Gallensteinen, die ich untersuchte, Gallensauren in grosserer und geringerer Menge nachweisen. Auch der Nachweis der Gallenfarbstoffe versagte nach Methode a) auch bei wenig gefarbten Steinen wohl niemals.

Steine von vorwiegend erdigem Gehalt lassen bei dem Verbrennen auf dem Platinblech einen bedeutenderen Ruckstand, der nach den fur die Harnsteine unten angegebenen Methoden näher zu prüfen ist.

Die Gallensteine vom Rind bestehen meist vorwiegend aus Bilirubinkalk.

Verdauung im Dickdarm.

Unter der Einwirkung der verschiedenen beschriebenen Sekrete legt der sich immer mehr verändernde Speisebrei seinen Weg durch den Dünndarm zurück und gelangt in den Dickdarm (S. 302).

Man hat in älterer Zeit das Coecum seiner Gestalt nach als einen zweiten Magen und so wie jenen als ein Centralorgan der Verdauung betrachtet. Da man den Inhalt des Coecums häufig sauer reagirend findet, so schien auch eine saure Absonderungsflüssigkeit der Coecumschleimhaut die Analogie noch zu unterstützen. Es ist jetzt mit aller Sicherheit erwiesen, dass das Sekret der Coecumschleimhaut alkalisch reagirt und sich von dem Sekrete der sonstigen Darmschleimhaut nicht wesentlich unterscheidet. Die saure Reaktion im Coecuminhalte hat ihre Ursache in einer sauren Gährung: Milchsäuregährung (S. 270), welcher vegetabilische Stoffe an dieser Stelle wie wahrscheinlich im ganzen Darme (Brücke) unterliegen. Die Säure tritt demnach im Coecum auch am stärksten bei rein vegetabilischer Nahrung hervor.

Beim Menschen gelangen in den Dickdarm noch unverdaute Reste aller aufgenommenen Nahrungsstoffe, man findet in seinem Inhalt noch unveränderte Eiweissstoffe, Fette, Stärkemehl etc. Der abgesonderte Darmsaft, verbunden mit der Milchsäuregährung, wird auch hier noch fort und fort auflösend wirken. Stets finden sich hier Buttersäure und Milchsäure als Zersetzungsprodukte des Zuckers. Seine Schleimhaut enthält diastatisches Ferment (Ptyalin), Spuren von Trypsin und Pepsin (Kühne u. A.) cf. oben S. 302.

Die Aufsaugung im Dickdarm ist eine noch sehr lebhafte, wofür auch der Reichthum an geschlossenen Follikeln besonders im Wurmfortsatze des Coecums spricht; der Wasserverlust des Speisebreies, der ihn zum Koth umwandelt, geht hier z. Th. vor sich. Der Versuch, bei sonst behinderter Nahrungsaufnahme eine Ernährung durch Klystiere zu ermöglichen, ist vollkommen gerechtfertigt. Voit fand mit Bauer, dass Hühnereiweiss, mit Kochsalz gemischt in den Dickdarm eingespritzt, hier aufgenommen und für die Ernährung verwendet wird. Dasselbe fand Eichhorst für Milch und ihre Eiweissstoffe. Peptone, Fleischsaft, Leimlösung, Fleischextract, Myosin und Kochsalz gemischt verhalten sich analog. Negative Resultate ergaben bis jetzt Versuche mit Blutfibrin, Eiweissstoffen des Blutserums, künstliches Acidalbumin und Syntonin. Zur Ernährung durch den Dickdarm würden sich also vorzüglich Milchinjectionen eignen, vielleicht am besten von condensirter Milch, um nicht zu viel Wasser mit einzuführen. Leube setzte dem gehackten Fleisch zerhacktes Pankreas zur Ernährung durch den Mastdarm zu, oder Glycerinauszug des Pankreas. Die Quantität von Darmsaft, die im Dickdarm abgesondert

wird, ist normal nur sehr gering. Er stammt aus denselben Drüsen, die wir auch im Dünndarm den Saft liefern sahen: aus LIEBERKÜHN'schen Drüsen. Aus Dickdarmfisteln fliesst kein Saft aus; in abgebundenen Dickdarmschlingen sammelt sich eine schleimige Masse an. Zu den Abbindungsversuchen eignet sich der wurmförmige Anhang des Blinddarms bei Kaninchen, da bei ihnen dieses Organ eine bedeutende Länge erreicht. FUNKE gewann 2—4 Stunden nach der Abbindung einen Saft, der den wurmförmigen Anhang strotzend füllte, von trüber Beschaffenheit und alkalischer Reaktion. Die Zusammensetzung des filtrirten Saftes war: Wasser 98,59 %, feste Stoffe 1,41 %, davon Asche 0,47 %. Der Saft veränderte geronnenes Eiweiss weder innerhalb noch ausserhalb des Körpers. Der filtrirte Saft verwandelte Stärke in Zucker. Der unfiltrirte Saft, welcher noch abgestossene Cylinderzellen und Pflanzenreste aus der Nahrung enthielt, setzte den entstandenen Zucker noch weiter in Milchsäure und Buttersäure um, durch Gährung, wie sie auch im lebenden Wurmfortsatze erfolgte, wenn er mit Stärke gefüllt wurde.

Der Koth.

Von seinem Eintritt in das Coecum an verwandelt sich der Darminhalt nach und nach in Koth, den wir im Rectum fertig gebildet finden. Der Rest des Speisebreies verliert an Wasser, die Farbe — von den veränderten Gallenfarbstoffen herrührend, die hier die Salpetersäurereaktion nicht mehr geben — wird bräunlich, immer dunkler, der eigenthümliche, widerliche Kothgeruch, je nach der Nahrungsweise verschieden, tritt hervor. Die Reaktion wird durch die, wie oben erwähnt, durch Gährung gebildeten Säuren: Buttersäure und Essigsäure, fast immer wieder sauer, nachdem sie im Inhalte des Dünndarms durch die Zumischung der alkalischen Sekrete nach und nach von aussen nach innen fortschreitend alkalisch geworden war. Flüchtige Fettsäuren sind es vor Allem, welche den Kothgeruch erzeugen, gemischt mit den übelriechenden Produkten der Pankreasverdauung. L. BRIEGER bestimmte folgende flüchtige Bestandtheile der menschlichen Excremente: Essigsäure zu $^3/_4$ aller fetten Säuren, normale und Isobuttersäure, Valeriansäure, Capronsäure, dann Phenol, Indol und neben einem gelben stinkenden Oele eine neue Substanz: Scatol, von dem Fäcalgeruch des Indol. Es ist dieselbe indolartige Substanz, welche W. KÜHNE durch Schmelzen von Eiweiss und Kali gewonnen hat, sowie NENCKI und SECRETAN durch Fäulniss von Eiweiss. Der Koth wird gewöhnlich als der unverdauliche Nahrungsrest aufgefasst. Das Mikroskop und die Chemie weisen leicht nach, dass im Menschenkoth neben den unverdaulichen auch noch unverdaute, an sich verdauliche Stoffe vorhanden sind. Das mikroskopische Bild, welches Menschenkoth nach verschiedener gemischter Kost zeigt, ist sehr mannigfaltig: gelbgefärbte, zerstückelte Muskelbündelchen, Bindegewebe, elastische Fasern, Käsestückchen, Stückchen von hartem Eiweiss; Pflanzenreste: Spiralfasern, Zellen mit Chlorophyll, Stärkekörnchen etc., dazwischen Nadeln von Fettsäuren, manchmal die charakteristischen Tafeln der Cholesterinkrystalle. In flüssigem Koth finden sich auch mehr oder weniger zerstörte Cylinderzellen. Schon die letzteren Elemente zeigen, dass der Koth nicht allein aus Nahrungsresten besteht, sondern dass ihm auch vom Darme aus noch Stoffe

zugemischt werden. Ausser den abgestossenen Epithelzellen mit ihrem Inhalt haben wir in ihm auch die Ueberbleibsel der in den Darm ergossenen Verdauungssäfte, welche zwar zum Theil, aber nicht vollständig, wieder resorbirt werden. Schleim fehlt im Kothe niemals. Ausser den veränderten Gallenfarbstoffen (Stereobilin, VANLAIR und MASIUS, identisch mit JAFFE's Urobilin und MALY's aus Bilirubin künstlich dargestelltem Hydrobilirubin, das HEYNSIUS und CAMPBELL im Harn Choletelin nennen, für etwas Anderes erklärt MALY sein Choletelin gegen STOKVIS) findet sich im normalen Koth immer auch noch ein Theil der Gallensäuren theils unverändert (?), theils zersetzt vor. Die Glycocholsäure und die Taurocholsäure unterliegen der Spaltung, als deren Produkte freie Cholsäure und deren Umsetzprodukte Choloidinsäure und Dyslysin entstehen.

Zur Untersuchung des Koths. a. Physiologisches Verhalten. — Die chemische Zusammensetzung des Menschenkothes ist natürlich je nach der Nahrung sehr verschieden. Nach sehr bedeutender Fleischkost fand ich ihn fast genau von der Zusammensetzung des Fleisches, das Mikroskop zeigte nur unverdaute Fleischfasern, theils wohl erhalten, theils in den verschiedensten Formen der Maceration und des Zerfalls. Wenige krystallinische Nadeln von Fettsäuren waren eingemischt.

Als Beispiel der quantitativen chemischen Zusammensetzung mag eine Analyse von BERZELIUS dienen, die an Menschenkoth angestellt wurde: Wasser 75,3, feste Stoffe 24,7. Davon gallensaure Salze 0,9, Schleim und Gallenharze 14,0, Albumin 0,9, Extraktivstoffe 0,7, natürliche Speisereste 7,0, Salze 1,2.

Den Salzgehalt des Menschenkothes fand ich sehr gleichbleibend zwischen 11,14—12,14% der trockenen Substanz schwankend. Er besteht der Hauptmasse nach aus Magnesia- und Kalksalzen, während die Kali- und Natronsalze zurücktreten.

In 100 Theilen Asche von Menschenkoth fand PORTER: Chlornatrium 4,33, Kali 6,10, Natron 5,07, Kalk 26,46, Magnesia 10,54, Eisenoxyd 2,50, Phosphorsäure 36,03, Schwefelsäure 3,13, Kohlensäure 5,07.

Der Wassergehalt des normalen Kothes beträgt etwa 75%, er kann aber durch Zurückhaltung im Darm viel an Wasser verlieren, oder bei rascher Entleerung noch weit wasserreicher sein. Täglich werden vom Menschen etwa 30 Gramm feste Stoffe im Kothe abgegeben. Die anorganischen Kothstoffe sind meist unlöslich in Wasser. In der Nahrung genossene organisch saure Salze erscheinen im Koth in kohlensaure Salze verwandelt wieder.

Die hellgelben, hie und da grünlichen Exkremente mit Muttermilch ernährter gesunder Neugeborener enthalten viel Fett, unverdautes geronnenes Casein, unveränderte Galle. Bei solchen Kindern im Alter von 2—3 Monaten fand ihn WEGSCHEIDER von saurer Reaction, herrührend von Milchsäure, höheren Gliedern der flüchtigen fetten Säuren, Palmitinsäure und Stearinsäure. Die Fette gehen z. Thl. unzersetzt, z. Thl. in Seifen (Kalk und Magnesia) verwandelt mit dem Koth ab.

b. Pathologisches Verhalten des Menschenkothes. — Die häufigste pathologische Veränderung des Kothes besteht in der abnormen Zunahme an Wasser bei Diarrhöen. Der Grund dieses Wasserreichthums scheint oft nur darin zu bestehen, dass der Darminhalt so rasch den Darm passirt, dass sich nicht genügend Zeit zur Aufsaugung seiner flüssigen Bestandtheile findet. Auf diese Weise können den Organismus enorme Flüssigkeitsmengen verlassen, da in 24 Stunden nach BIDDER und SCHMIDT 10 Liter Wasser allein aus den Verdauungssäften (Speichel, Magensaft, Galle, Bauchspeichel, Darmsaft) in den Darm ergossen werden. Auch eine Anzahl von Abführmitteln scheint in dieser Richtung zu wirken (BUCHHEIM, THIRY). Es wäre aber falsch, anzunehmen, dass dieses der einzige Grund der Diarrhöen sei. In vielen Fällen vermag der gelähmte (S. 302) oder der seines Epithels zum Theil beraubte Darm die

Gewebsflüssigkeit nicht zurückzuhalten, wozu nur das lebende normale Epithel im Stande ist (J. Ranke). Es findet dann eine Transsudation von Gewebsflüssigkeit in das Darmlumen statt mit allen chemischen Eigenschaften jener Flüssigkeit: Eiweiss, Salze des Blutserums etc. Meist erfolgt nebenbei auch noch ein rascherer Durchgang durch den Darm, wodurch dem Darmexsudat auch grossere oder geringere Mengen der unveränderten Verdauungsflüssigkeiten: Galle, Pankreassekret, beigemischt werden können. Die Galle erkennt man leicht nach der Gmelin'schen Probe. Das zersetzte Pankreassekret nimmt unter Zusatz von Chlorwasser eine rosenrothe Farbe an; diese Farbe tritt öfters in eiweiss- und schleimhaltigen Darmentleerungen auf. Vermehrung der Schleimabsonderung im Dickdarm bringt sehr schleimhaltige Darmentleerungen hervor. In einem solchen katarrhalischen Stuhl entdeckte Liebig: Alloxan ($C_4 H_2 N_2 O_4$), ein Zersetzungsprodukt der Harnsäure, welches der eintrocknenden Masse von selbst eine rothe Färbung ertheilte. Da Alloxan in Harnstoff überzugehen vermag, so erschien dieser Fund einer Zwischenstufe zwischen Harnsäure und Harnstoff im Organismus für die Theorie der Harnstoffbildung (cf. Harn) von Wichtigkeit. Bei Darmkatarrhen finden sich hier und da so massenhaft abgestossene Cylinderepithelien, dass der flüssige Koth dadurch ein milchiges Ansehen erhält (Chylorrhea); dasselbe kann durch massenhafte Beimengung von Eiter- und Schleimzellen erfolgen. Bei zerstörenden Processen im Darme finden sich Gewebsreste auch im Koth, ebenso Zellen von krankhaften Neubildungen, Blutkörperchen, geronnener Faserstoff (Blut). Bei Darmkatarrhen, Ruhr etc. wimmelt die Darmentleerung von unzähligen niedersten Organismen: Spaltpilzen (cf. Harn) und Infusorien; die ersteren finden sich auch sonst in geringer Menge regelmässig vor. In alkalischen Stühlen bei Typhus, Ruhr finden sich oft sehr reichlich die »Sargdeckel« der phosphorsauren Ammoniak-Magnesia-Krystalle (cf. Harn).

Die Exkremente nach Calomelgebrauch enthalten unzersetzte, durch die Gmelin'sche Probe nachweisbare Galle (Biliverdin) beinahe konstant; nach Eisengebrauch findet sich im Koth Schwefeleisen. Die Ausscheidungen nach Senna fand C. Schmidt eiweisshaltig, 3% feste Stoffe, davon 0,8% anorganische Salze.

Die Darmentleerungen bei Ruhr (Dysenterie) sind der Hauptmasse nach Transsudate, reich an Albumin, Kochsalz. Sie enthalten meist geringere oder grössere Mengen unveränderter Galle. Solche Stühle werden zweischichtig (hier und da dreischichtig), indem sich die festeren Partien: Blut, Eiter, Schleim, Epithelien, Krystalle, Speisereste, Körnchenhaufen, meist bräunlich gefärbt, zu Boden senken, während eine trübe (oft nur von Fäulnissorganismen getrübte) seröse Flüssigkeit oben steht. Dasselbe ist bei Typhus der Fall, wenn der Stuhl, wie meistens, flüssig ist. Letzterer ist sehr stinkend, da die Gallenproduktion bald leidet (cf. oben S. 333), und stark alkalisch. Der Bodensatz besteht aus den angegebenen Substanzen, unter denen nur meist das Blut fehlt. Die Flüssigkeit enthält Albumin und reichlich Chloralkalien, aber meist keine Galle. Die Typhusstühle behalten den Charakter der Faeces, der bei Ruhr mehr und mehr verschwindet.

Die Choleraentleerungen aus dem Darm sind ebenfalls Transsudate mit massenhaft beigemischten Darmepithelien, die ihnen das charakteristische »reiswasserähnliche Aussehen« ertheilen. Sie enthalten wenig gelöstes Eiweiss, aber viel Kochsalz und meist keine Galle. Die Gallenblase ist dann öfters auch mit reiswasserähnlicher Flüssigkeit gefüllt. Mit Salpetersäure färben sich die Choleraentleerungen rosenroth wie die Typhusstühle. Schmidt fand in ihnen 1,2—1,5% feste Stoffe, davon etwa 0,8% anorganische Salze.

Bei Icterus, durch Verhinderung des Gallenabflusses in den Darm, hat der Koth eine weissgraue Farbe, riecht faulig und ist ungemein fettreich; enthält bei vollkommenem Verschluss des Gallengangs keine Reste der Galle.

Bei dem Icterus der Neugeborenen, der in den ersten Lebenstagen eintritt, sind die dazu gehörigen Exkremente getrennt noch nicht näher untersucht.

c. Die Farbe des Koths ist normal bei gemischter Kost gelbbraun oder braun, nach Milchgenuss gelb, nach Calomel grün, da das Schwefelquecksilber in der Masse vertheilt grün erscheint; nach Eisenpräparaten grün oder schwarz; letzteres auch nach dem reichlichen

Genuss von Schwarzbeeren (Heidelbeeren, Vaccinum myrtillus). Nach Indigogenuss sind sie grün. Schwarzblaue Partikeln fand ich im Koth nach Gebrauch von Jodpräparaten (Jodstärke). Rhabarber und Safran färben den Koth lichtgelb, Blut roth, rothbraun etc. Bei den Grasfressern rührt die grüne Farbe des Koths vorzüglich von Chlorophyll her.

d. Darmsteine. Im Dickdarm des Menschen wie der Pflanzenfresser finden sich hie und da Inkrustationen, entweder allein aus phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia bestehend oder diese in Mischung mit phosphorsaurer Magnesia. Kleie, namentlich Roggenkleie enthält letzteres Salz reichlich; bei Müllerpferden, die mit Kleie gefüttert werden, findet man nicht selten Dickdarmsteine von 3—4 Kilogramm Gewicht. Im Darm von Capra aegageus, Bezoarziege Persiens und des Kaukasus, sowie in dem der Antilope dorkas, gemeine Gazelle, finden sich die orientalischen Bezoare, eiförmig, olivengrün, geschichtet aus Lithofellinsäure $C_{20} H_{36} O_4$ bestehend (Ettling und Will), braunschwarze Bezoare bestehen aus Ellagsäure $C_{14} H_6 O_8$.

Die Salze des Koths.

Die überwiegende Menge der anorganischen Bestandtheile des normalen Koths sind, wie die oben mitgetheilte Analyse derselben lehren kann, Kalk, Magnesia und Phosphorsäure. Die löslichen Salze werden aus dem Darmsaft vollkommen resorbirt. Die unlöslichen Aschenbestandtheile der organisirten Stoffe sind mit diesen in inniger Verbindung. Fast alle Eiweisssubstanzen der Pflanzen und der Thiere liefern bei der Veraschung neben phosphorsaurem Kali die Verbindungen des Kalks und der Magnesia mit Phosphorsäure, die an sich nur in Säuren löslich sind. Ihre innige Verbindung mit den organischen Substanzen geht daraus hervor, dass sich diese zum Theil in Wasser, zum Theil in alkalischen Flüssigkeiten auflösen, ohne ihre Phosphate auszuscheiden, ebenso wenig findet das statt bei der Lösung derselben im alkalischen Pankreas- oder Darmsaft. Durch die Verdauung werden diese Salze von den organischen Stoffen getrennt, mit denen sie verbunden waren, das Resultat der Verdauung ist also die Bildung freier nicht mehr löslicher Salze, die sich nun z. B. als phosphorsaure Ammoniak-Magnesia ausscheiden können. Soweit diese aufgenommen werden, treten sie wohl noch mit den verdauten Eiweissstoffen verbunden in die Säftemasse ein, so dass das Eiweiss zu ihrer Verdauung besondere Wichtigkeit erhält. Die meist saure Reaktion des Dickdarminhalts begünstigt eine theilweise Aufnahme derselben ebenfalls, wie die Reaktion des Magensaftes.

Man hat darauf aufmerksam gemacht (Kühne, Meissner), dass die Darmverdauung in der Abtrennung der genannten phosphorsauren Salze von ihren organischen Stoffen eine gewisse Aehnlichkeit mit der Fäulniss zeigt, die schon im lebenden Organismus (J. Ranke) z. B. nach Impfung brandiger Wundbestandtheile bei Kaninchen eine Abspaltung und krystallinische Ausscheidung der phosphorsauren Salze (phosphorsauren Ammoniakmagnesia) von den Albuminaten in den Geweben hervorbringt (cf. Haut). Nach einer Bemerkung Meissner's sollen die faulenden Eiweisssubstanzen auch zunächst in den Peptonen sehr ähnliche Modifikationen übergeführt werden. So kommt wie die Lehre von der einfachen Gährung (cf. Magenverdauung), so auch die alte Lehre von der »Faulung« der Nährstoffe bei der Verdauung (cf. S. 294) wieder einigermassen zur Geltung. Für eine solche sprechen vornehmlich auch die Darmgase.

Die Gase des Darms.

Im ganzen Verdauungscanale finden sich Gase vor. Es unterliegt keinem Zweifel, dass sie zum Theil aus der Luft stammen, die mit dem schäumenden Speichel in den Magen herabgeschluckt wird, und so z. Th. in den Darm gelangt.

Der verschluckte Sauerstoff wird dort zu chemischen Aktionen verwendet oder von den Blutkapillaren aufgesaugt, so dass in geringem Maasse eine Magenathmung auch bei dem Menschen und den höheren Thieren vorkommt, wie sie in grösserem Maassstabe bei manchen Thieren, z. B. bei dem Schlammpeizger, Cobitis fossilis, nachgewiesen ist. Für 1 Volumen aufgenommenen Sauerstoff finden sich im Magen 2 Volumen Kohlensäure. In den Gasen der Gedärme fehlt der Sauerstoff gänzlich oder er ist im Dünndarm höchstens in Spuren vorhanden. Die Magengase (Kohlensäure und Stickstoff) mischen sich dem Darminhalt bei, der zunächst in Folge von Buttersäuregährung noch Kohlensäure und Wasserstoff, etwa in gleichem Volumen, zumischt. In dem Dickdarm des Menschen findet man ausser den drei genannten Gasen noch Gruben- oder Sumpfgas, d. i. den leichten Kohlenwasserstoff CH_4 und zuweilen Schwefelwasserstoff. Bei Hunden soll der Kohlenwasserstoff, bei Pflanzenfressern der Schwefelwasserstoff fehlen, bei diesen will man Kohlenoxyd (?) nachgewiesen haben. Der Schwefelwasserstoff tritt nur nach dem Genuss von Fleisch auf, so dass er aus der Zersetzung der Albuminate im Darm zu stammen scheint. Es rührt, wie das Auftreten des Wasserstoffes, so auch das des Kohlenwasserstoffes von im Darm regelmässig, aber in schwankendem Grade eintretenden Gährungsvorgängen resp. Fäulnissvorgängen (Hoppe-Seyler) her. Diese Gase werden auch in der Athemluft gefunden und entstammen dort wohl allein der ebengenannten Quelle, ohne dass man sie in directen Zusammenhang mit dem Respirationsprocess bringen dürfte (cf. Athmung).

Planer fand die Darmgase je nach der Nahrung verschieden: bei Hülsenfrüchtenahrung fand sich im Hundedarm sehr viel Wasserstoff, der bei Fleischnahrung fast ganz fehlte.

Dünndarmgase vom Hunde:

	nach 4tägiger Fleischfütterung	nach 4tägiger Hülsenfruchtfütterung
CO_2	84,12 Vol.%	65,13 Vol.%
H	2,40	28,97 -
N	13,32	5,90 -
O	—	—

Die Dickdarmgase vom Menschen, die Ruge mit einem besonderen Saugapparat aus dem Anus gesammelt hatte, zeigten folgende Zusammensetzung:

	Nach gemischter Kost:	Nach Milchdiät:	Nach 4tägigem Genuss von Leguminosen:	Nach reiner Fleischkost:
CO_2	40,51	9,06	21,05	8,45
N	17,50	36,71	18,96	64.41
CH_4	19,77	0	55,94	26,45
H	22,22	54.53	4,03	0,69
H_2S	Spur	—	—	Spur

Menschliche Faeces, der freiwilligen Zersetzung (Fäulniss) an der Luft überlassen, fahren fort Kohlensäure, Wasserstoff, Sumpfgas und Spuren von Schwefelwasserstoff zu entwickeln.

G. Hüfner untersuchte mit Ausschluss der Wirkung der bekannten Fäulnissorganismen (Bacterien) die Gasentwickelung, welche bei künstlicher Pankreasverdauung auftritt. Das Gas bestand bei Verdauung von Fibrin lediglich aus Stickstoff und Kohlensäure. Es ist bemerkenswerth, dass diese Abscheidung von CO_2 sich lediglich als eine Wir-

kung des Fermentes auf das Fibrin zu erkennen gab, die Fermentlösung allein entwickelt keine CO_2.

Schliesst man bei derartigen Versuchen die Gährungs- und Fäulnissorganismen nicht mit hinreichender Sicherheit aus, so finden sich im Gasgemische auch die anderen Componenten der Darmgase: H, CH_4, H_2S (A. Kunkel), was für die oben angegebene Entstehungsursache der Darmgase spricht. CH_4 entsteht nach Popoff aus Zersetzung der Cellulose durch Mikrokokken ausserhalb und innerhalb des Darms.

Die Desinfektion der Darmentleerungen, hygieinische Bemerkungen.

Die im Organismus entstehenden Gewebsschlacken zeigen sich wie z. B. die CO_2, Harnstoff fast alle als starke Gifte, die möglichst rasch aus dem Körper: durch Athmung und Harn entfernt werden müssen, um die Lebensvorgänge nicht zu beeinträchtigen oder zu vernichten.

Die Schlacken der Nahrungsstoffe und der Verdauungssäfte, welche auf dem Wege des Darmes den Körper verlassen, theilen im frischen feuchten Zustande diese verderblichen Eigenschaften kaum. Selbst die feuchten Darmentleerungen Cholera- und Typhuskranker scheinen keine Gefahr hervorzurufen. Dagegen entwickeln sich in den sich zersetzenden Ausleerungen nicht nur der Kranken, sondern auch der Gesunden, wie in allen faulenden organischen Substanzen stark wirkende, der Luft und dem Wasser sich mittheilende Gifte, welche zu Ansteckung Gesunder, die in solcher Luft und von solchem Wasser längere Zeit leben, führen können. Die Art des Giftes ist noch nicht mit Sicherheit ermittelt. Allem nach scheinen vornehmlich zwei verschiedene Arten solcher Gifte aufzutreten. Nennen wir sie in Ermangelung näherer Kenntniss: Typhusgift und Choleragift. Das erstere Gift kann aus allen faulenden organischen, besonders thierischen Materien sich bilden. Am häufigsten aber ist seine Entstehung aus sich zersetzenden, in den Boden gesickerten Exkrementen, wohin sie aus Aborten und besonders den in manchen Städten üblichen ungemauerten Versitzgruben gelangen. Der berühmte Fall von Griesinger zeigt, dass wir es hier mit einer Wirkung zu thun haben, die unter Umständen des Erdbodens nicht bedarf, um sich geltend zu machen. Bei einem Gastmahle wurde bei 500 Personen durch verdorbenes Fleisch eine Vergiftung, aus der sich Typhus entwickelte, hervorgebracht. Am intensivsten aber scheint die Giftentwickelung aus faulenden Exkrementen Typhuskranker zu sein. Das Choleragift soll namentlich aus der Zersetzung der Cholera-Exkremente erzeugt werden. Wie das Pestgift sich zu den beiden genannten verhält, ist noch nicht sicher ermittelt, wahrscheinlich reiht es sich aber nahe an das Typhusgift an.

Man glaubt meist, dass diese Krankheitsgifte organischer Natur seien: Fermente, Zellen, Spaltpilze? sie bedürfen zu ihrer Entwickelung gewisser äusserer Umstände.

Was von dem einen Krankheitsgifte gilt, lässt sich auch auf das andere anwenden. Wir beschränken uns im Folgenden auf das, was Griesinger, von Pettenkofer und Wunderlich über das Choleragift mitgetheilt haben:

Jedes Gemenge von frischem Harn und Koth nimmt nach wenigen Tagen in Folge von Selbstentmischung eine alkalische Reaktion durch Bildung von kohlensaurem Ammoniak an, das man in der Luft der Abtritte durch befeuchtetes Kurkumapapier, das sich bräunt, nachweisen kann. Diarrhöische Darmentleerungen reagiren häufig schon im frischen Zustande alkalisch (da sie Transsudate aus dem Blute sind, S. 337), und gerade bei den Cholera-Entleerungen ist dies die Regel. Die Thatsachen weisen nun darauf hin, dass der eingeschleppte »Cholerakeim« überall um so üppiger gedeiht und wuchert, je ausgedehnter und ergiebiger die Einwirkung des alkalischen Inhalts der Abtrittgruben auf den Boden und die Luft eines Hauses ist. Es liess sich erwarten und die bisherigen Versuche sprechen schlagend dafür, dass das Verhindern des Eintrittes der alkalischen Reaktion oder, wo sie bereits eingetreten ist, ihre Neutralisation bis zum deutlichen Auftreten einer sauren Reaktion die Entwickelung des Giftes verhindert (oder schwächt).

Man kann Dieses mit Schwefelsäure, Salpetersäure oder Salzsäure oder mit allen in Wasser löslichen, sauer reagirenden Metallsalzen erreichen, am billigsten mit Eisenvitriol. Manganchlorür, schwefelsaures und Chlorzink leisten dasselbe. Ausser den Metallsalzen kann auch die als Destillationsprodukt der Kohle erhaltene rohe Karbolsäure die saure Reaktion frischer Exkremente erhalten, zur Ansäuerung alkalischer kann sie dagegen nicht dienen. Die präservirende Kraft der Metallsalze kann durch einen äusserst geringen Zusatz von Karbolsäure sehr erhöht werden. Als gasförmiges Desinfektionsmittel dient am besten schwefelige Säure, durch reichliche Schwefelverbrennung erzeugt. PLUGGE, welcher nach seinen Experimenten von der Wirkung des Eisenvitriols, Chlorwassers und Chlorkalks sowie des Kaliumpermangenats keine grossen Leistungen sah, beobachtete, dass in einer Lösung, welche 1—1,5% Karbolsäure enthält, keine, auch nicht die niedersten Organismen, leben können.

25 Gramm Eisenvitriol reichen durchschnittlich für eine Person täglich hin, die Exkremente sauer zu erhalten. 3—4 Gramm reiner Karbolsäure auf 100cc Wasser leisten bei schon sauren Exkrementen dasselbe. Zur Desinfection von Abtritten hat man zunächst in der Grube die Exkremente mit einer genügenden Menge (10—20 Pfund) von in Wasser vollkommen gelöstem Eisenvitriol unter gutem Umrühren anzusäuern, mit Lakmuspapier zu prüfen! Nach einigen Tagen muss die Prüfung mehrfach wiederholt werden und der meist wieder alkalische Inhalt neuerdings mit Eisenvitriollösung unter Umrühren angesäuert werden. Eine entsprechende Menge roher Karbolsäure wird ebenfalls in die Grube gegeben. Die Abtrittsitze werden mit Eisenvitriollösung und Karbolsäure gut gewaschen und die Schläuche mit den Lösungen möglichst allseitig bespült und gereinigt; hölzerne Schläuche lassen eine vollkommene Desinfektion nicht zu. Eisenvitriol ungelöst in die Gruben gebracht, desinficirt nicht allseitig.

SUVERN hat angegeben, die Kloakenflüssigkeiten mit einer Flüssigkeit »SÜVERN'sche Masse«) zu desinficiren, welche 240 Theile Wasser, 100 Theile Kalk und variable Mengen oder nach HAUSMANN 10 Theile Chlormagnesium und 6 Theile Theer enthält. Im Theer wirkt die Karbolsäure, der Kalk reisst durch einen voluminösen Niederschlag, den er erzeugt, die Organismen der Flüssigkeit nieder, die in ihm bewegungslos werden. Das Chlormagnesium bindet das Ammoniak. HAUSMANN untersuchte unter VIRCHOW's Leitung Berliner Kloakenwasser (Canalwasser). Er beschreibt dasselbe als eine trübe grünlich graue Flüssigkeit von sehr üblem Geruch und einem dunklen Bodensatz von humificirten Pflanzenresten, Sand etc. und zufälligen Verunreinigungen und sehr verschiedenartigen Infusorien, Algen, Pilzen (Fäulnisspilzen, Leptothrix, Schizomyceten, Spaltpilzen) in grosser Zahl. Nach der Desinfektion mit der SUVERN'schen Masse war das Wasser klar, farblos, roch nach Theer und reagirte alkalisch und war frei von niederen Organismen. An der Luft bildete es ein Häutchen von kohlensaurem Kalk, das allmälig zu Boden sank und dabei die von der Luft zugeführten Pilze und Pilzkeime niederzog, so dass Gährung und Pilzbildung 8—10 Tage verhindert wurden. Die Gegenwart von Theer verhütet die Bildung niederer Organismen länger als Kalk, tödtet aber, wie die Karbolsäure, grössere Infusorien erst nach einigen Tagen, die Pilze, Bakterien etc. bewegen sich dann noch. Das scheint zu beweisen, dass Karbolsäure allein nicht angewendet werden sollte.

Zur Reinigung beschmutzter Wäsche, Fussböden etc. dient am besten Zinkvitriol oder Chlorzink, die keine Flecken hinterlassen. Dass die Desinfektion zu beginnen hat, wenn man sich volle Wirkung von ihr versprechen will, ehe die Vergiftung der Einwohner eines Hauses oder einer Stadt schon stattgefunden, ist selbstverständlich. Die Reinigung der beschmutzten Kleidungsstücke etc., indem man sie in einem eisernen Doppelcylinder aufhängt und erhitzt, dadurch, dass man in den äusseren Mantel des Cylinders Dampf von etwa 110° C. einleitet (C. ESSE), hat sich für Tödtung von Ungeziefer in den Kleidungsstücken neu aufgenommener Kranker bewährt, bei Cholera muss es durch reichliche Schwefelung unterstutzt werden. Bei sporadischem Auftreten (Einschleppen) asiatischer Cholera ist das Verbrennen der verunreinigten Gegenstände als das Sicherste anzurathen.

Pesthäuser hat man in Russland niedergebrannt. Zimmer und andere Räume, in welchen man Ansteckungsstoffe vermuthen muss, werden zuerst durch Verbrennen reichlicher Schwefelmengen ausgeschwefelt, dann werden die Wände mit Aetzkalk resp. frisch gelöschtem Kalk neu geweisst. Aetzkalk ist ein vortreffliches Mittel zur Zerstörung vieler organischer wie anorganischer Gifte, welches vielfach anwendbar ist.

Man hat versucht, die Salpetersäure als Maass zu benützen für die stattgefundene Verunreinigung des Wassers, z. B. Trinkwassers, Flusswassers durch organische Abfallstoffe. Verhaltnissmässig rasch werden nämlich bei der grossen Vertheilung im Flusswasser die organischen Theile durch Oxydation zerstört, der Stickstoff in Salpetersäure umgewandelt. Beimischungen von grösseren Mengen Salpetersäure deuten also meist darauf hin, dass das betreffende Wasser unrein war und also noch immer verdächtig ist.

Neuntes Capitel.

Die Mechanik der Verdauung; Chylus und Lymphe.

1.

Bewegung der Nahrungsstoffe im Nahrungsschlauch.

Allgemeine Uebersicht.

An die chemischen Veränderungen der Nahrungsstoffe durch die Verdauung schliessen sich eine Reihe mechanischer, activer Vorgänge an, theils dazu bestimmt, die chemischen Aktionen zu ermöglichen und zu unterstützen, theils der Erfüllung des eigentlichen Zweckes aller Verdauung vorzustehen: die Nahrungsstoffe aus dem Darmcanal in die Säftemasse des Organismus überzuführen.

Die Nahrung wird von dem Organismus durch willkürliche Acte ergriffen, in der Mundhöhle von den Zähnen verkleinert und, überzogen und gemischt mit Speichel und Mundschleim, durch den eigens dazu vorhandenen Muskelapparat in den Magen hinabgeschluckt. Die unwillkürlichen Bewegungen des verdauenden Magens lassen abwechselungsweise verschiedene Partien der aufgenommenen Nahrung an den Mündungen der Magensaft absondernden Drüsen hingleiten und befördern so die Drüsenabsonderung durch directe Reizung und die innige gleichmässige Mischung mit diesem wichtigen Sekrete. Wenn diese eingetreten ist, wenn die Zeit gegeben war für energisch verdauende Wirkungen, wenn aus der Nahrung der Speisebrei geworden ist, öffnet sich der Muskelverschluss des Pförtners und in rhythmischen Stössen wird der Speisebrei dem Zwölffingerdarm übergeben, aus dem er gemischt und verdünnt mit den dort zufliessenden Säften des Pankreas und der Leber durch wurmförmige Contractionen langsam den langen Windungsweg des Darmes hinabgepresst wird. Auf der ganzen bisher genannten Strecke finden sich die Bedingungen, um den Nahrungsstoffen den Eintritt in die Blut- und Lymph- resp. Chylusgefässe zu gestatten. Ein Schliessapparat regulirt am Ende des Darmes den Austritt der unverdauten Stoffe und entlässt diese endlich willkürlich.

Mechanik der Mundverdauung.

Die Aufnahme der Nahrungsstoffe erfolgt durch das Oeffnen des Mundes, wozu der Unterkiefer herabsinkt. Flüssigkeiten werden meist einge-

saugt oder eingeschlürft. Beide letztgenannten Aufnahmsarten beruhen auf einer Luftverdünnung innerhalb der Mundhöhle, die entweder bei möglichst vollkommenem Luftabschluss durch Erweiterung der Mundhöhle erzeugt wird, indem der ganze Mundhöhlenboden sich senkt — Saugen der Säuglinge — oder durch rasches Einziehen eines Luftstromes in ähnlicher Weise wie bei gewissen Gebläsen. Bei dem Saugen werden die möglichen Luftzugänge in der Nasen- und Rachenhöhle durch die vorderen Gaumenbogen und die Zunge abgeschlossen. Die Mundspalte schliesst sich durch festes Anlegen der Lippen um das die Flüssigkeit enthaltende Gefäss, z. B. die Brustwarze, die Flaschenmündung etc. Beim gewöhnlichen Trinken verschliessen wir die Mundspalte mit der Flüssigkeit selbst, und erweitern den Brustraum bei vollkommenem Abschluss aller Zugänge zur Mundhöhle. Durch die dadurch entstehende Luftverdünnung in der Mnndhöhle wird die Flüssigkeit ebenso angesaugt wie bei mageren Personen die Wangen beim Trinken einsinken.

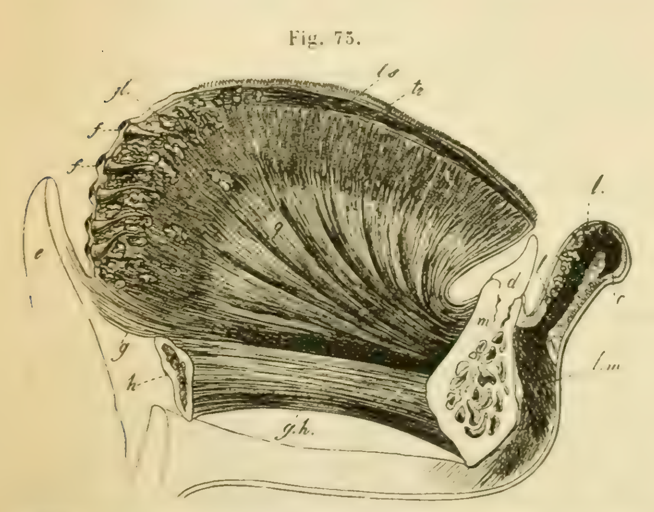
Die Verkleinerung der festen Speisen wird durch die Kiefer bewirkt, deren Zahnreihen in verschiedener Weise zusammengedrückt und schleifend aneinander bewegt werden können. Zwischen diese Schneide- und Quetschapparate werden die Speisen durch die Muskulatur der Lippen, Wangen und Zunge hereingepresst, gehalten und wieder daraus entfernt, um nach inniger Mischung mit Speichel zum Bissen geformt zu werden.

Die Zunge (über deren Schleimhaut bei dem Geschmackssinn gehandelt werden wird) ist von den erwähnten Organen zweifelsohne das wichtigste, da auf ihrer Bewegungsfähigkeit, ermöglicht durch ein wunderbar gewebtes Netz vielfältig getheilter, quergestreifter Muskelfasern nicht nur diese vergleichsweise niedere thierische Function, sondern auch die höchste der menschlichen Muskelthätigkeiten beruht: die Sprache. Ein Theil der Muskelfasern verläuft ausschliesslich in der Zunge, in welcher das dünne, die Zunge in zwei seitliche Hälften spaltende Fasergewebe der Zungenscheidewand — Septum linguae — Ansatzpunkte für sie schafft: auch an die Schleimhaut der Zunge heften sich zahlreiche Muskelfasern mit mikroskopischen Sehnen an. Die grösste Menge der Fasern entspringt aber als anfänglich noch mit dem Messer leichter trennbare Muskelindividuen von Unterkiefer, Zungenbein und Schläfenbein, und nur an der Zungenspitze sind sie so innig mit einander verwebt, dass sie kaum mehr unterschieden werden können. Im Allgemeinen zeigt die Zungenmuskulatur drei Verlaufsrichtungen: der Länge nach, quer und senkrecht. Den inneren Kern der Zungenmuskelmasse bilden nach Kölliker vor Allen die beiden Kinnzungenmuskeln: Genioglossi, und der quere Zungenmuskel: Transversus linguae. Zu beiden Seiten des Septum linguae verläuft in fächerförmiger Ausbreitung der Genioglossus, die Mitte des Organes von der Spitze bis zur Wurzel einnehmend. Seine Bündel (Fig. 75) stehen an ihrem Ursprung am Kinn und in der Mitte des Organes direct an einander, spalten sich aber dann in viele senkrecht neben einander zur ganzen Oberfläche der Zunge aufsteigende und dort endende Blätter, zwischen die sich die querlaufenden Fasern des Transversus ganz regelmässig einschieben und die überbleibenden Zwischenräume ausfüllen. Auch der Transversus zerfällt, da er jederseits von dem Septum entspringt, in zwei getrennte Hälften; seine oberen kürzesten Bündel wenden sich etwas nach aufwärts, um an den Seitentheilen des Zungenrückens

an der Schleimhaut zu enden, die übrigen Fasern inseriren sich an den eigentlichen Zungenseitenrand.

Die beiden genannten Muskeln werden von dem Hyoglossus, dem Styloglossus, dem Longitudinalis inferior und superior gleichsam eingehüllt. Der Hyoglossus ahmt in seinem Verlaufe an den Seitentheilen der Zunge den Genioglossus nach. Auch seine Muskelmasse spaltet sich an der Unterfläche des Zungenrandes in querstehende Blätter, die sich aufwärtssteigend zwischen diejenigen Blätter des Transversus einschieben, welche vom Genioglossus nicht eingenommen werden. Das eine Bündel des Styloglossus verläuft am Zungenrande nach unten und einwärts zur Schleimhaut der Zungenspitze: das zweite Bündel desselben Muskels schiebt sich zwischen den anderen

Fig. 75.



Längsschnitt der Zunge des Menschen in natürlicher Grösse, die Umrisse nach Arnold Icon. org. sens.: *g.h* Geniohyoideus, *h* Zungenbein, *g* Genioglossus, *g'* Glossoepiglotticus, *tr* Transversus linguae, *l.s* Longitudinalis superior, *e* Epiglottis, *m* Maxilla inferior, *d* Schneidezahn, *o* Orbicularis oris, *l.m* Levator menti, *i* Glandulae labiales, *f* Folliculi linguales, *gl* Glandulae linguales cum ductibus.

Fig. 76.



Ein verästeltes Primitivbündel von 0,018''' aus der Zunge des Frosches, 350mal vergr.

Zungenmuskeln durch und endet an der Scheidewand. Zwischen Genioglossus und Hyoglossus an der Unterfläche der Zunge verläuft das Längsbündel des Longitudinalis inferior. Zwischen den obersten Transversus-Fasern und der Schleimhaut findet sich noch eine Längsfaserschicht, welche die ganze Länge und Breite der Zunge einnimmt und von Kölliker als Longitudinalis superior bezeichnet wird. Derselbe Forscher fand in der Zungenspitze noch selbständige senkrecht stehende Fasern.

Diese complicirte Verlaufsrichtung der Zungenmuskeln wird durch die Entdeckung, dass sich die einzelnen Muskelprimitivbündel an ihren Enden vielfältig theilen, noch verwickelter gemacht. In der Zunge des Frosches sind diese Verzweigungen leicht aufzufinden (Fig. 76). Feinste Ausläufer der Primitivbündel verlaufen hier in den grossen Geschmackswärzchen bis zur Spitze (Waller, Axel Key, Billroth).

Aus der Darstellung (nach Kölliker) ergibt sich: Die senkrechten Fasern stammen vom Genioglossus in der Mitte jeder Zungenhälfte, an den Seiten von den Longitudinales und dem Hyoglossus, an der Zungenspitze kommen noch die selbständigen senkrechten Fasern des Perpendicularis hinzu. Die genannten Fasern spalten sich alle in senkrecht stehende Blätter, in deren Zwischenräume sich die querlaufenden Fasern vom Transversus und Styloglossus einschieben. Meist unmittelbar unter der Schleimhaut liegen die Längsfasern vom Longitudinalis superior, L. inferior und dem Styloglossus stammend. In gewissem Sinne müssen auch die Ursprungsfasern des Genioglossus, ehe sie sich senkrecht umbiegen, hinzu gerechnet werden.

Ehe wir die Betheiligung der Zunge an den Schluckbewegungen näher betrachten, müssen wir die Formveränderungen der Zunge und ihre möglichen Bewegungen vorerst im Allgemeinen etwas zergliedern, ganz abgesehen zu welchem Zwecke diese Bewegungen dienen, ob zum Kosten, Schmecken, Schlucken, Kauen, Sprechen etc. Da die Zunge mit dem Unterkiefer und dem Zungenbeine durch ihre Muskeln verbunden ist, so muss sie passiv allen Bewegungen dieser Knochen folgen.

Durch die Zusammenziehung der senkrechten Fasern wird die Zunge breit und platt; die Contraction der Querfasern wird bei erschlafften Längsfasern die Zunge verlängern, bei gleichzeitiger Thätigkeit der Längs- und Querfasern wird aus der Zunge ein fester, rundlicher, dicker Zapfen; Verkürzung wird erzeugt durch die contrahirten Gesammt-Längsfasern.

Die mannigfaltige Anordnung der Zungenmuskeln, ihre Sonderung in einzelne Muskelindividuen, von denen im Allgemeinen ein gleicher Zweck erreicht werden kann, die aber je eine gesonderte Contraction zulassen, macht es anschaulich, wie vielfältig wechselnd die Formgestaltung und Bewegung der Zunge sein könne. Bei einmal angenommener Gestalt kann die Zungenspitze nach allen Richtungen in der Mundhöhle bewegt werden, wozu nur eine einseitige Contraction ihrer äusseren Längsfasern erforderlich ist. Durch alleinige Zusammenziehung der innersten senkrechten Fasern wird der Zungenrücken zum Löffel ausgehöhlt; der Zungenrücken wird gewölbt durch die Contraction der untersten Querfaserschichten. Aus den Ansatzverhältnissen wird verständlich, dass die ganze Zunge durch den Hyoglossus nach hinten und unten, durch den Styloglossus und Glossopalatinus nach oben gezogen werden kann. Durch die hintersten Fasern des Genioglossus kann sie etwas nach vorne gezogen werden, wie aus der Abbildung des Faserverlaufes direct hervorgeht.

Die Muskelfasern erhalten ihre Bewegungsantriebe vom N. Hypoglossus, auf dessen normaler Erregbarkeit und Erziehung die Fähigkeit zu den mannigfaltigen Bewegungen basirt, wie sie vor Allem bei dem Sprechen von der Zunge gefordert werden.

Bei dem Kauen der Speisen werden von der Zunge und der übrigen Mundhöhlenmuskulatur, vorzüglich dem Buccinator, verhältnissmässig einfache Dienste verlangt, indem sie den Mundhöhleninhalt nur in der Mundhöhle umher zu bewegen, mit Speichel zu mischen — einspeicheln — und zwischen die Zähne zu bringen haben. Beim Kauen sind vor Allem die Kiefer thätig. Durch Anpressen des Unterkiefers senkrecht gegen den Oberkiefer können

festere Stoffe zwischen den messerförmigen Schneidezahnreihen und den spitzen Eckzähnen förmlich zerschnitten und zersprengt werden; zerquetscht und zermalmt werden sie zwischen den flachen, höckrigen Kronen der zusammengedrückten oder an einander schleifenden Backenzähne.

Schon in der Mundhöhle beginnt die Resorption der gelösten Stoffe. Innerhalb 2—4 Minuten werden nach A. KARMEL's Beobachtungen 2—20% von Weinsäure, kohlensaurem Natron, salpetersaurem Kali, schwefelsaurer Magnesia, Traubenzucker von der Mundschleimhaut aufgenommen.

Zur Entwickelungsgeschichte. — Die Mundhöhle ist nicht von Anfang an in Verbindung mit der Darmhöhle, sie entsteht als eine buchtförmige Einstülpung des obersten Keimblattes, des Hautsinnesblattes, die erst später in den Darmcanal durchbricht. Dieser Vorgang ist darum von noch grösserer Bedeutung, weil er lehrt, dass eine Einstülpung des Hautsinnesblattes auch bei der Bildung der Mundhöhle mit dem Geschmacksorgane eine Hauptrolle spielt, wie bei der Bildung der drei höheren Sinnesorgane (cf. diese). REMAK beobachtete am Hühnerembryo am dritten Brüttag die »Mundbucht« zuerst als eine Grube im Bereiche des ersten Kiemenbogens unterhalb des vordersten das Vorderhirn umschliessenden Schädelendes, die durch selbständige Wucherung des Hautsinnesblattes und durch Vortreten der Ober- und Unterkieferfortsätze des ersten Kiemenbogens sich erweitert und sich nach aussen durch eine quere Mundspalte öffnet. Nach hinten verschliesst sie eine dünne Scheidewand, einerseits vom Hautsinnesblatt, andererseits vom Darmdrüsenblatt bekleidet, die mittlere Lage wird von der Darmfaserschicht des Vorderdarms gebildet. Schon am vierten Brüttag entsteht in dieser Scheidewand eine Spalte, »Rachenspalte«, welche Mundbucht und Vorderdarm verbindet, bald verschwinden die Reste der Scheidewand gänzlich und die beiden Höhlen communiciren durch eine weite Oeffnung. Zur Bildung der Mundschleimhaut vereinigt sich mit dem Hautsinnesblatt bald eine oberflächliche Lage des mittleren Keimblatts (KÖLLIKER). Die erste Anlage der Zunge zeigt sich bei dem Menschen in der sechsten Woche. Sie erscheint als kleiner Wulst in der Mittellinie der inneren Fläche des ersten Kiemenbogens und zwar aus einem nach innen von diesem gelegenen Bildungsmaterial, das später vorzüglich zum Genioglossus wird. Der Zungenwulst wächst in die Länge und Breite und nimmt bald die Gestalt der Zunge an; schon im dritten Monat entwickeln sich die Zungenpapillen, und zwar zuerst die Circumvallatae und Conicae (REICHERT, KÖLLIKER). KOLLMANN entdeckte bei einem menschlichen Embryo vom Ende der fünften Woche eine bilaterale Anlage der Zunge in Form zweier Wülste zwischen den Unterkieferfortsätzen. Daraus erklären sich die Beispiele angeborener Zungenspaltung im Zusammenhalt mit dem Auftreten gespaltener Zungen bei Eidechsen und Schlangen. Vor Ende des zweiten Monats wuchern die Oberkieferfortsätze des ersten Kiemenbogens in horizontaler Richtung nach innen als Gaumenplatten, die zuerst eine Spalte, »Gaumenspalte«, zwischen sich lassen, sich bald aber zu dem harten Gaumen vereinigen (von der achten Woche an). In der neunten Woche ist der harte Gaumen vollkommen geschlossen, der weiche noch gespalten. In der zweiten Hälfte des dritten Monats ist das Velum gebildet. Wolfsrachen, Hasenscharten, Lippenspalten sind als Stehenbleiben auf embryonalen Bildungsstufen zu erklären. Durch die Ausbildung des Gaumens trennt sich die anfänglich einfache, primitive Mundhöhle in einen respiratorischen Abschnitt und die eigentliche Mundhöhle.

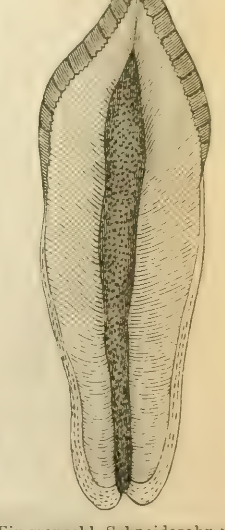
Zur vergleichenden Anatomie. — Bei den Amphibien und Fischen bleibt die »primitive Mundhöhle«. Bei den Reptilien beginnt der Scheidungsprocess der Mundhöhle durch die Entwickelung des Gaumens in zwei Etagen, von denen die eine durch Ausbildung der Nasenscheidewand noch weiter in zwei seitliche Höhlen, Nasenhöhlen, getrennt werden kann. Bei den Schlangen und Eidechsen schreitet dieser Scheidungsprocess weniger weit vor als bei den Schildkröten und Krokodilen. Bei den Säugethieren ist die Trennung am vollkommensten, so dass nur noch im Pharynx Mund und Nasenhöhle communiciren. Die Mundhöhle wird bei Säugethieren noch weiter durch den muskulösen Apparat des Gaumensegels abgegrenzt.

seine mediane Verlängerung, Uvula, findet sich nur bei Menschen und Affen. Die Zunge bildet bei den Fischen meist nur einen durch den Schleimhautüberzug des Zungenbeins gebildeten flachen Wulst; oft ist sie mit Zähnen besetzt. Bei den Amphibien tritt eine selbständigere Zungenmuskulatur auf, die Zunge erscheint als ein dickes oft vorstreckbares Gebilde. Bei den Reptilien (Eidechsen und Schlangen) wird die an der Spitze gespaltene, vorstreckbare Zunge mit einer Scheide umgeben, das Epithel der Zunge ist bei letzteren meist verhornt und bildet an der oberen Fläche Schuppen und Höcker. Bei Schildkröten und Krokodilen ist die Zunge breit und flach. Unter den Vögeln bildet bei den Papageien die Zunge ein massives, fleischiges Organ, bei anderen ist das vordere Ende meist mit verhornten Epithelschichten bedeckt, bei den Spechten mit seitlichen Widerhaken, bei den Tucanen mit feinen Borsten besetzt. Bei den Säugethieren ist je nach der Nahrung die Zunge mannigfach entwickelt, sie ist muskulös, vorstreckbar. Die Zunge kann bei der Nahrungsaufnahme sehr verschiedene Verrichtungen übernehmen. Bei Echidna ist die Zunge lang und schmal, bei Myrmecophaga wurmförmig, bei Nagern und Wiederkäuern ist der hintere Abschnitt beträchtlich höher als der vordere. Unter den Papillen sind die Papillae circumvallatae die konstantesten, die stets den Rücken der Zungenbasis einnehmen, bei Halmaturus findet sich nur eine, bei Edentaten zwei (Gegenbaur).

Die Zähne.

Man unterscheidet an jedem Zahne drei verschiedene Theile, die frei über das Zahnfleisch hervorragende Krone, den vom Zahnfleisch bedeckten Hals und die in den Kiefer Alveole eingekeilte Wurzel. Im Innern findet sich eine Höhlung, welche in den Wurzelspitzen ausmündet. Diese Höhlung in der festen Zahnmasse wird durch nerven- und gefässreiches Gewebe, die Pulpa, erfüllt; durch feine Canälchen, welche den Zahn durchziehen und in die Zahnhöhle münden, geschieht die Zahnernährung. Der Zahn wird von dreierlei verschiedenen Geweben zusammengesetzt. Die Wurzel wird vom Cement überzogen, der den Bau der Knochensubstanz zeigt. Die Krone überkleidet der Schmelz; das innere Zahngewebe, welches an unverletzten Menschenzähnen nirgends offen zu Tage tritt, wird als Zahnbein oder Elfenbein bezeichnet (Fig 77).

Fig. 77.

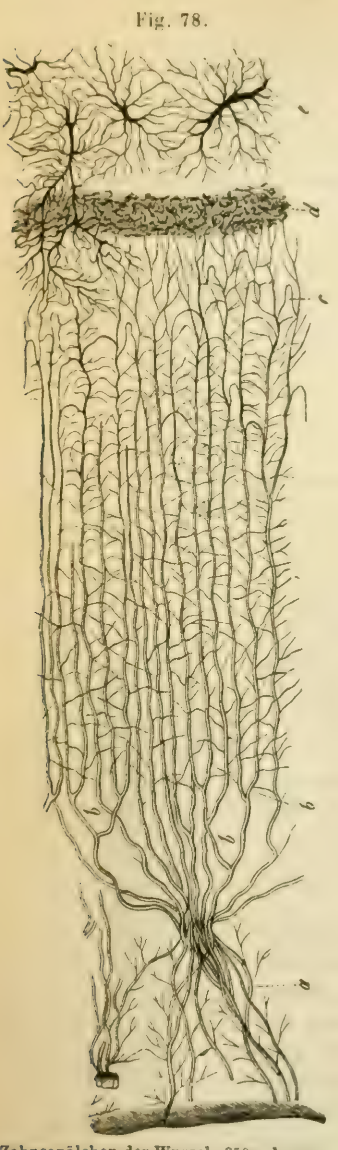


Ein menschl. Schneidezahn mit der Zahnhöhle in der Axe, umgeben von dem Zahnbeine, welches im unteren Theile vom Cement, im oberen vom Schmelz bedeckt wird.

Die das Zahnbein durchziehenden feinen Canälchen (0,001—0,0015 mm breit laufen parallel neben einander her senkrecht auf die Begrenzungsfläche der Zahnhöhle, so dass sie auf einem Querschnitt fast überall eine radienförmige Anordnung zeigen. Die Zahncanälchen haben eine besondere Wand. Die einzelnen Canälchen theilen und verbinden sich, ohne im Allgemeinen ihre Verlaufsrichtung zu ändern, mannigfaltig. Die Grundmasse zwischen den Canälchen ist homogen. Im Allgemeinen lässt sich das Zahnbein als modificirte Knochensubstanz betrachten (Fig. 78). Die Pulpa dentis, der Zahnkeim, besteht aus einer Art von Bindegewebe mit vielen runden oder ovalen kernhaltigen Zellen. Die Zwischensubstanz ist faserig. Das eintretende arterielle Stämmchen spaltet sich mehrfach,

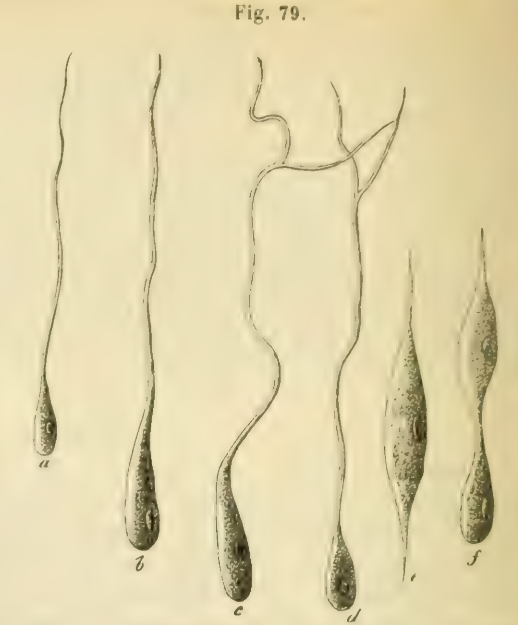
um erst im Zahnkeime in Kapillaren zu zerfallen. Die Aussenfläche des Zahnkeimes besetzen cylindrische Zellen mit länglichem Kerne, welche feine, weiche

Fig. 78.



Zahncanälchen der Wurzel, 350mal vergr *a* Innere Oberfläche des Zahnbeines mit spärlichen Röhren. *b* Theilungen derselben, *c* Endigungen mit Schlingen, *d* körnige Schicht, bestehend aus kleinen Zahnbeinkugeln an der Grenze des Zahnbeines, *e* Knochenhöhlen, eine mit Zahncanälchen sich verbindend. Vom Menschen.

Fig. 79.



Dentin- oder Elfenbeinzellen nach Lent. Bei *a* und *b* einfache fadenförmige, zu Zahnröhrchen sich gestaltende Ausläufer; *c*, *d* getheilte, *e* eine spindelförmige Zelle; *f* eine getheilte.

Fortsätze in die Zahncanälchen aussenden, welche letztere ganz ausfüllen, Dentinzellen (Fig. 79). Der Cement beginnt an der Grenze der Schmelzschicht mit dünner Lage und erreicht an der Wurzel seine grösste Dicke. Es finden sich in ihm ästig verzweigte Knochenzellen, welche sich theils unter einander, theils mit einzelnen Zahncanälchen verbinden. Der Schmelz oder Email besteht aus langen dicht an einander gefügten, meist sechsseitigen Fasern oder Säulen, den Schmelzprismen oder Schmelzsäulen, 0,003—0,0004 mm breit, welche die Dicke des Schmelzes so durchsetzen, dass beim Gebrauch der Zähne der Druck in ihrer Richtung ausgeübt wird. Die Schmelzprismen sind optisch doppeltbrechend, in der Richtung ihrer Längsaxe isotrop, sie stimmen nach Hoppe-Seyler in Härte, Krystallgestalt (?) und optischem Verhalten mit dem Apatit überein.

Auf Querschliffen stellen die durchschnittenen Fasern ein zierliches schachbrettartiges Felderwerk aus vier- oder sechseckigen Felderchen dar. Der Schmelz wird noch von einem sehr harten homogenen Häutchen überzogen und geschützt, dem Schmelzoberhäutchen (Kölliker). Höhlungen für Ernährungsflüssigkeiten bilden im Schmelz unregelmässige Spalten, in welche sich einzelne Zahnröhrchen einzusenken scheinen.

In chemischer Beziehung ist das Zahnbein mit der Knochensubstanz identisch. Zahnbein und Cement enthalten dieselben Mineralbestandtheile wie die Knochen, eingelagert in eine organische leimgebende Grundmasse. Die Scheide der Zahnröhrchen löst sich weit schwerer als die übrige Zahnsubstanz. Das Zahngewebe ist etwas wasserärmer als das Knochengewebe. Der Zahnschmelz ist das an anorganischen Stoffen reichste Gewebe des thierischen und menschlichen Körpers und zugleich die härteste normale Substanz im Körper des Menschen und der höheren Thiere. Die organische Grundsubstanz liefert keinen Leim (Hoppe-Seyler), sondern gibt die Reaktionen des Horngewebes. Die organische Substanz des Schmelzoberhäutchens schliesst sich durch grosses Widerstandsvermögen gegen Säuren und Alkalien an das elastische Gewebe an (Kölliker). Im Schmelz ist etwa 1 % Fluor in Verbindung mit Calcium als Fluorcalcium enthalten. Der Wassergehalt des Zahnbeines beträgt bis zu 10 %. In Beziehung auf das chemische Verhalten muss im Allgemeinen auf das bei den Knochen zu Sagende verwiesen werden. Eine quantitative Analyse (von Bibra) eines Backenzahnes eines Erwachsenen ergab in 100 Theilen trocken folgende Zusammensetzung:

	Schmelz:	Zahnbein:
anorganische Substanz	96,41	71,99
organische Substanz	3,59	28,01
organische Grundlage	3,59	27,61
Fett	0,20	0,40
phosphorsaurer Kalk und Fluorcalcium	89,62	66,72
kohlensaurer Kalk	4,37	3,36
kohlensaure Bittererde	1,34	1,08
lösliche Salze	0,88	0,83

C. Aeby fand (ohne Rücksicht auf Fluor) bei wasserfreien Rinderzähnen:

	Zahnbein:	Schmelz:
anorganische Substanz	72,30	96,40
organische Substanz	27,70	3,60
PO_4	40,47	55,15
CO_3	0,97	3,32
Ca	28,74	37,28
Mg	0,15	0,21

ausserdem noch Spuren von Eisen, Schwefelsäure und Calcium. Hoppe-Seyler berechnet daraus folgende Formeln für die Hauptmasse von:

	Zahnbein:	Schmelz:
$Ca_{10}CO_3 6(PO_4)$	72,06	96,05
$MgHPO^3$	0,75	1,05
organische Substanz	27,70	3,60

In beiden bilde sonach Calciumphosphatcarbonat die Hauptmasse der anorganischen Bestandtheile neben geringen Mengen Magnesiumphosphat.

In der Zahnpulpa scheint sich Mucin zu finden, da sich ihr Gewebe durch Essigsäure nicht aufhellen lässt (Frey).

Die Lymphgefässe der Zahnpulpe sind noch nicht dargestellt.

Die Nerven sind sehr entwickelt. In jede Wurzelöffnung dringt ein dickerer Zweig der Nervi dentales und ausserdem noch mehrere feinste Reiserchen (bis zu 5), die im dickeren Theile der Pulpe ein reichliches Netz bilden, in dem man Nervenröhrentheilungen findet. Nach Robin sollen die feinsten Fasern frei endigen. Tomes will von den Fasern der Dentinzellen die grosse Empfindlichkeit des Zahnbeins ableiten.

Zur Entwickelungsgeschichte der Zähne. — Im Anfang des dritten Monats der Embryonalentwickelung des Menschen entsteht (Arnold, Goodsir, Kölliker, Kollmann u. A.) am Ober- und Unterkiefer eine Furche, die »Zahnfurche«. In dieser entwickeln sich zunächst in jedem Kiefer 10 freie Papillen, aus denen sich die Milchzähne bilden: Zahnpapillen (Kölliker). Durch Verwachsung der umgrenzenden Wallpartien werden sie in »Zahnsäckchen« eingeschlossen, die Anfangs nach oben offen sind. Während des Verwachsens bildet jedes der 20 Säckchen noch ein Nebensäckchen oder »Reservesäckchen« zur Bildung der bleibenden Zähne. Zuerst liegen diese Reservesäckchen über den Säckchen der Milchzähne, nach und nach rücken sie an deren hintere Seite. Das Elfenbein des Zahns entsteht aus der Ossification des oberen Theils der Zahnpapille. Der Schmelz ist eine verkalkte »Ausscheidung« der Epithelialzellen des Zahnsäckchens (die das sogenannte »Schmelzorgan« darstellen); der Cement wird von dem Zahnsäckchen, das die Stelle von Periost vertritt, als echte Knochensubstanz auf die Wurzel des Zahns abgelagert.

Bei Säugethieren ist der Process der Zahnentwickelung ganz analog. Ueber die Entwickelung der Zähne bei Amphibien und Reptilien wurden unter Kölliker's Leitung von Santi Sirena Untersuchungen angestellt. Die Zähne der Saurier und des Frosches entwickeln sich in einem Zahnsäckchen in der für den Menschen und die Säugethiere beschriebenen Weise. Bei Siredon und Triton beobachtete er die Entwickelung der Zähne frei in der Schleimhaut, welche die Kiefer deckt. Man beobachtet zunächst eine Anzahl grosser, papillenformiger einfacher Zellen, welche ganz oberflächlich in der den Kiefer bedeckenden Schleimhaut ihre Lage haben, nur an der oberen Seite mit einer Schicht rundlicher Epithelialzellen bedeckt sind. Etwas später zeigt sich dort eine durchsichtige Lage von der Form einer kleinen Kappe, welche die erste Anlage des Zahnbeins darstellt; später erscheinen auch im Umkreis der Zelle, soweit sie das Zahnbein berührt, kleine fadenförmige Verlängerungen, die ersten Spuren der Zahnfasern mit den Zahncanälchen. Das wachsende Zahnbein gelangt endlich an die Basis der »zahnliefernden Zelle«, und indem das angrenzende Bindegewebe verknöchert, wird der Kiefer mit dem Zahne zu einer Masse verbunden. Letzterer wächst noch in die Länge und durchbricht das ihn deckende Epithel.

Zur ärztlichen Untersuchung. — Zahndurchbruch und Zahnwechsel. Die Ordnung, in welcher die Zähne hervorbrechen, ist in gerichtlicher Beziehung für die annähernde Bestimmung des Alters wichtig. Doch ist die Ordnung keine absolut gleich bleibende. Der Zahndurchbruch erfolgt in der Regel gruppenweise zu zweien. Mit dem siebenten Lebensmonat treten die inneren Schneidezähne des Unterkiefers hervor, worauf die entsprechenden Zähne des Oberkiefers nach kurzer Zwischenfrist folgen. Einen Monat später folgen die äusseren Schneidezähne. Im Anfang des zweiten Lebensjahres folgt der erste Backenzahn, in der Mitte desselben Jahres der Eckzahn, zu Ende desselben der zweite Backenzahn. Mit dem Durchbruch des zweiten Backenzahnes jederseits und oben und unten ist die Zahl der Milchzähne (20) komplet. Der Zahnwechsel beginnt im siebenten Jahre, indem Wurzel und Körper des Milchzahns bis zur Krone resorbirt werden, unter Einwirkung des »erodirenden Granulationsgewebes« der Zahnsäckchen (Kehrer, Lieberkühn). Der erste bleibende Zahn ist der neu sich bildende erste Mahlzahn, worauf der eigentliche Wechsel der Milchzähne erfolgt.

Der innere und dann der äussere Schneidezahn wechseln zu Ende des siebenten oder achten Lebensjahres, hierauf der erste und zweite Backenzahn im achten und neunten, zuletzt der Eckzahn im zehnten oder elften Jahre. Im zwölften Jahre erscheint der zweite Mahlzahn. Der Weisheitszahn, dessen Krone erst im zehnten Jahre zu verknöchern beginnt, kommt zwischen dem sechzehnten bis vierundzwanzigsten Jahre zum Vorschein. Die bleibenden Zähne werden durch den Gebrauch abgenutzt. Im siebzigsten Lebensjahre haben alle Schneidezähne ihre Kanten eingebüsst, die halbe Krone ist abgeschliffen, das Zahnbein liegt hier frei. An den Eck- und Backenzähnen sind die Höcker geebnet und der Schmelz erhält sich nur zwischen den Vertiefungen der Höcker. Das Ausfallen der Zähne im Alter ist Folge mangelhafter Ernährung wie bei den Milchzähnen. Nach dem Ausfallen der Zähne im Alter condensirt sich das Zahnfleisch, so dass es wenigstens an der Stelle der Mahlzähne zum Zerquetschen festerer Nahrungsmittel fähig wird. Es sind Fälle beobachtet, wo im höchsten Alter neue Zähne zum Durchbruch kamen, theils schon in der Jugend vorgebildete, theils vielleicht neu entstandene? (HYRTL).

Ueber die Veränderungen des Schmelzes im Alter: Abnützen der Zähne, war eben die Rede. Durch starke Temperaturwechsel, Druck, Stoss beobachtet man häufig das Entstehen von Rissen, Spalten im Schmelz, welche bis auf das Zahnbein durchgehen und Gelegenheit zur Ansiedelung zahlreicher niederer Organismen: Spaltpilze, Bacterien geben, welche das Zahnbein angreifen, indem sie seine organische Substanz zerstören. Dieser Vorgang ist zunächst also kein entzündlicher.

Zur vergleichenden Anatomie. — Die Papillen der Schleimhaut der Mundhöhle können zu Zähnen umgebildet werden, und zwar nach LEYDIG auf zweierlei Weise: 1) durch Verhornung ihres Epithels. Von dieser Art sind die Hornzähne des Petromyzon und die des Ornithorhynchus u. a. 2) durch Verkalkung der Bindesubstanz. Von den Fischzähnen hatte man zuerst erkannt, dass sie mit Zahnsubstanz überzogene Papillen des Zahnfleisches, Gaumens, der Zunge etc. seien. Ossificirt nur das freie Ende der Papille kappenartig, so bleibt der Zahn beweglich, greift die Umkalkung tiefer, etwa bis zur Basis der Papille und zum Bindegewebsstratum der Schleimhaut selber, so erscheinen die Zähne, indem die verknöcherte Mucosa mit dem darunter liegenden Knochen verschmilzt, als unmittelbare Auswüchse des Knochens. Bei den Fischen erhebt sich überall die Schleimhaut der Mundhöhle zu sehr starken, leicht ossificirenden Papillen; hier tragen nicht nur Zwischen-, Ober- und Unterkiefer, sondern auch Gaumenknochen, Pflugschaar, Keilbeinkörper etc. Zähne. Die Zähne der Fische und Amphibien und Reptilien bestehen nur aus verknöchertem Bindegewebe, nur aus Elfenbein und Zahnbein. Bei vielen Fischen ist der ganze Zahn solid, ohne Pulpa. Schmelz und Cement mangeln den Zähnen der niederen Wirbelthiere: diese beiden Substanzen kommen zum Zahn nur, wenn sich dieser in einem Zahnsäckchen bildet (cf. oben), was bei einigen Sauriern und den Säugethieren geschieht. Doch fehlt auch bei Edentaten und den Stosszähnen der Elefanten der Schmelz. Bei einigen Thieren ist das Zahnbein gefässhaltig (im Stosszahn des Elefanten, beim Faulthier, in den Schneidezähnen einiger Nager). Die starke Papillarentwickelung der Schleimhaut der Mund- und Rachenhöhle bei den Fischen erstreckt sich bei einigen Fischen auch auf die Schlundschleimhaut, deren Papillen auch zahnartig verknöchern können (LEYDIG). Complicationen im Bau der Zähne werden namentlich durch Faltung der Zahnsubstanz bedingt, die auf die Gestaltung der Papille zurückgeführt werden muss. Sie treten bereits bei Fischen auf und sind bei fossilen Amphibien (Labyrinthodonten) in grosser Ausbildung zu treffen. Aehnliche Verhältnisse bieten sich bei Säugethieren in den sogenannten schmelzfaltigen Zähnen. Ausserdem unterscheidet man zusammengesetzte Zähne, welche aus mehreren, ganz mit Schmelz überzogenen Platten, durch Cement zusammengekittet, bestehen. — Das wechselnde Verhältniss der Zahnpapille zum Zahn wurde schon angedeutet. Die Pulpa ist entweder ein bleibendes Organ, so dass der Zahn eine Höhle (Zahnhöhle) besitzt, wie z. B. an den Zähnen der Krokodile und der meisten Säugethiere, oder der Zahn wird ganz solid, z. B. bei vielen Sauriern. Die Zahnhöhle gestaltet sich nach Vollendung des Wachsthums der Zähne bei den Säu-

gern in der Regel zu einem engen Canal. Die Schneidezähne (vielfältig auch die Backenzähne der Nager besitzen offen bleibende Zahnhöhlen; dadurch wird ein Fortwachsen des Zahns ermöglicht, wie es bei den Schneidezähnen dieser Ordnung die Regel ist (Gegenbaur).

Die Bewegung des Kiefers und der Schluckakt.

Die Kieferbewegung geschieht durch eine durch beide Kiefergelenke gelegte horizontale Axe; das Anpressen wird durch den Masseter, Temporalis und Pterygoideus internus, das Oeffnen der Kiefer durch die Wirkung des vorderen Bauches des Digastricus, Mylohyoideus und Geniohyoideus, unterstützt durch die Schwere des Unterkiefers, besorgt. Für die Zermalmung müssen die Zahnreihen nach vorne und hinten sowie seitlich unter gleichzeitig erfolgendem Zusammenpressen an einander verschoben werden. Da nur der Unterkiefer frei beweglich ist, so beruht das Zermalmen nur auf seiner Bewegung, welche durch die Wirkung des Pterygoideus externus jeder Seite erzeugt wird. Diese Bewegungsfähigkeit wird dem Kiefergelenke durch seinen aus der beschreibenden Anatomie bekannten eigenthümlichen Bau ertheilt. Die Kaumuskeln werden vom Trigeminus, vor Allem vom Nervus crotaphyticobuccinatorius des Ramus maxillaris inferior, versorgt.

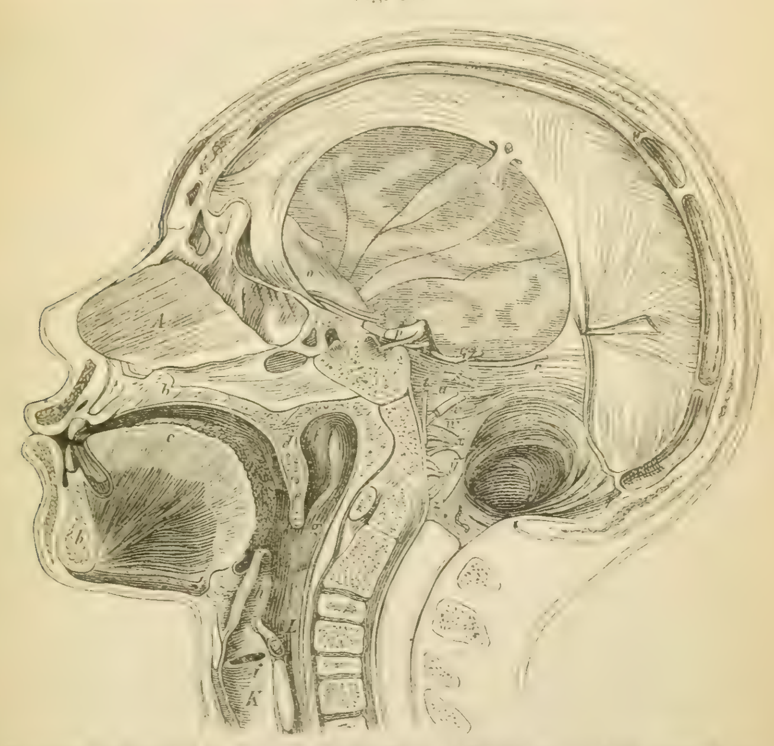
Nach dem Kauen und Einspeicheln folgt die Bildung des Bissens, indem von den Seiten her die durch den Speichel in einen formbaren Brei verwandelten Stoffe auf den Zungenrücken geschoben werden. Dieser höhlt sich löffelförmig aus und presst sich an den harten Gaumen an, wodurch dem Bissen eine ellipsoidische Gestalt ertheilt wird.

Schluckakt. Indem dieses Andrücken der Zunge von der Spitze gegen die Wurzel fortschreitet, wird der Bissen immer weiter nach hinten geschoben bis hinter den vorderen Gaumenbogen. Dieses Andrücken wird nur an der Zungenspitze von der eigentlichen Zungenmuskulatur, in der Mitte durch Abflachen des Mundhöhlenbodens in Folge der Zusammenziehung des Mylohyoideus, an der Wurzel durch den Styloglossus besorgt. Ist einmal der Bissen hinter den vorderen Gaumbogen, so legen sich diese durch den Musc. palatoglossus an die Zunge an und schliessen die Mundhöhle von der Rachenhöhle, in der sich nun der Bissen befindet, vollkommen ab (Dzondi). Gleichzeitig werden die inneren Nasenöffnungen, Choanen, durch das Anlegen des Gaumensegels an die hintere Rachenwand geschlossen, was theils aktiv durch die Levatores palati mollis, theils passiv durch den Druck des Bissens erfolgt. Dadurch dass der Kehldeckel aktiv über den Kehlkopfeingang durch seine Muskeln — Thyreo- und Aryepiglottici — herübergelegt wird, wird auch letzterer abgeschlossen (Czermak). Fehlt der Kehldeckel, so kann auch noch durch Contraction der Stimmritze ein Kehlkopfverschluss hervorgerufen werden (Fig. 80).

Da alle sonstigen Oeffnungen geschlossen sind, bleibt dem Bissen nur der Weg in den Schlundkopf, der dem herabgleitenden Bissen entgegenkommt mit einer gleichzeitigen, von aussen sichtbaren Hebung des Kehlkopfes. Aus dem Schlundkopf übergibt ihn eine Zusammenziehung des Schlundschnürers an die Speiseröhre, welche sich oberhalb und um den Bissen zusammenzieht, so dass durch die Contraction der Bissen von oben nach unten fortgeschoben wird. Sobald der Bissen fortgerückt ist, erweitern sich die vorher contrahirten Partien

der Speiseröhre wieder, während die direct über dem Bissen liegenden sich zusammenziehen, so dass die Contraction wie die Bewegungen eines Wurmes, »wurmförmig« von oben nach unten in der Speiseröhre verläuft. Ganz analoge Bewegungserscheinungen finden sich auch am Magen und Darm und werden als peristaltische bezeichnet. Diese Bewegungen sind ganz regelmässig, auf die Zusammenziehung eines höher gelegenen Stückes folgt die eines tiefer gelegenen. Ist der Modus der Bewegung wie bei krankhaften Verhältnissen umgekehrt, so bezeichnet man sie als eine antiperistaltische.

Fig. 80.



Vertikaler Durchschnitt der Mund- und Rachenhöhle. *A* Septum narium, *b* durchsägter Kiefer, *c* Zunge, *d* Gaumensegel, *e* Uvula, *f* die Mündung der Tuba Eustachii, *g* Weg aus dem unteren Theile des Schlundkopfes zu dem oberen Theile und den Choanen, *h* Epiglottis, *K* Kehlkopf, *L* Schlundkopf, *o*—*r* Hirnnerven.

Zur vergleichenden Physiologie und Anatomie. — Die Kauwerkzeuge der Thiere stehen in genauester Beziehung zu ihrer Nahrung. Bei den fleischfressenden, namentlich den reissenden Thieren sind die Eckzähne stärker ausgebildet und die Nahrung wird zwischen diesen Zähnen und den Klauen zerrissen. Bei den Wiederkäuern sind die Backenzähne, bei den Nagern die Schneidezähne besonders ausgebildet. Bei den Carnivoren beschränken sich die Bewegungen des Kiefers fast allein auf ein Heben und Senken, wodurch zwischen den schneidenden Backenzähnen die feste Nahrung zerschnitten wird. Bei dem Wiederkäuer sind die seitlichen Bewegungen sehr ausgedehnt, bei den Nagern die Vor- und Rückwärtsbewegungen. Damit steht die Gestalt der Gelenkhöhlen und Gelenkköpfe in vollkommenem Einklang. Bei den Carnivoren stehen sie quer, und die Gelenkköpfe liegen genau in der engen, ziemlich tiefen Gelenkhöhle; bei den Wiederkäuern sind sie ziemlich rundlich

und mithin sehr beweglich; bei den Nagern haben sie eine Richtung von vorn nach hinten, und es können sich die Gelenkköpfe in dieser Richtung leicht auf der Gelenkfläche verschieben. Die Temporales und Masseteres sind bei den Carnivoren, die Pterygoidei bei den Wiederkäuern besonders stark entwickelt, was mit den hauptsächlichsten Bewegungen der Kiefer im Zusammenhang steht. Die stark entwickelten Jochbogen und die grossen Schläfengruben der Carnivoren bieten jederseits ansehnliche Anheftungsflächen für Temporalis und Masseter, während bei den Wiederkäuern die Processus pterygoidei, von denen die Mm. pterygoidei entspringen, eine ungewöhnliche Entwickelung zeigen. Der Mensch nimmt in all diesen Verhältnissen eine mittlere Stellung ein (Donders).

Die *Kauorgane der Arthropoden* bewegen sich nicht in vertikaler, sondern in horizontaler Richtung gegen einander, sie sind nichts Anderes als bald zum Kauen, bald zum Saugen umgebildete vorderste *Gliedmassenpaare*. Diese Umwandlung der Gliedmassen in Mundtheile ist bei den Crustaceen am deutlichsten, und es gibt sich die allmälige Umgestaltung der Füsse in Kieferfüsse und dieser in Kiefer z. B. schon beim Flusskrebs, noch mehr bei Limulus moluccanus, dem Molukkenkrebs, auf den ersten Blick zu erkennen, so dass hier kein Zweifel über die morphologische Bedeutung dieser Theile aufkommen kann. Bei den übrigen Arthropoden lehrt dasselbe die Entwickelungsgeschichte.

Nervöse Einflüsse auf Kauen und Schlucken.

Die Acte des Kauens und Schluckens sind, soweit sie von dem Willen eingeleitet werden, Beispiele für die in der speciellen Nervenphysiologie näher zu besprechenden *coordinirten Bewegungen*. Wir werden uns nur eines einzigen Willensantriebes bewusst, der den ganzen vergleichsweise complicirten Muskelmechanismus des Kauens und Schluckens in Thätigkeit setzt. Schröder van der Kolk fand das *Centrum der coordinirten Kaubewegungen* in der Medulla oblongata, wohin die Mehrzahl derartiger Bewegungscentren (der *unteren* Bewegungscentren im Gegensatze zu den *oberen* im Gehirn) verlegt werden muss. Dort sitzt der die Kaumuskeln direct und regelmässig beeinflussende nervöse Apparat, der vom Gehirn aus durch einen einzigen Willensanstoss ebenso in Thätigkeit versetzt wird, wie das einfache Abschieben einer Hemmungsvorrichtung ein ruhendes oder aufgezogenes Uhrwerk zu seinem mannigfaltigen Spiel veranlasst. Bei dem *Schluckakte* sind grösstentheils quergestreifte Muskelfasern betheiligt. Sie haben ihr erstes automatisches Centrum ebenfalls in der Medulla oblongata und zwar in den Oliven (Schr. v. d. Kolk).

Ausser den uns aus der Anatomie bekannten *Nerven* für die Lippen, die Kieferbewegungen und die Zunge, agirt für den Rachen der Plexus pharyngeus, zu welchem Glossopharyngeus, Vagus, Accessorius und Sympathicus zusammentreten. Der Trigeminus setzt den Tensor palati mollis und den Mylohyoideus in Thätigkeit.

Nur bis zu einem gewissen Grade ist der Schluckakt der Willkür unterworfen, wir sehen ihn unwillkürlich eintreten, wenn irgendwie der Kehldeckel oder die hintere Fläche des Gaumensegels berührt wird. Auch dann, wenn wir scheinbar mit Willen schlucken, lässt sich doch immer ein erregender Reiz nachweisen, ohne den das Schlucken nicht möglich sein würde. Es muss eine Berührung jener Schleimhautpartien stattfinden, z. B. durch etwas Speichel, wenn der Schluckakt soll eingeleitet werden können. Es ist leicht zu erproben, dass das »leer Schlucken« nur so lange gelingt, als Speichel zum

Verschlucken vorhanden ist. Ebensowenig gelingt das Schlucken bei offenem Munde. Es sind sonach die Schluckbewegungen zu den reflectorischen Bewegungen zu rechnen, da sie wie alle in dieselbe Klasse gehörigen Muskelbewegungen nur auf einen nachweisbaren sensiblen Reiz eintreten. Der Wille hat vor Allem die Aufgabe, diese reflectorischen Bewegungen rechtzeitig zu hemmen, rechtzeitig die Bedingungen zu ihrem Eintritt zusammenwirken zu lassen. Es sind sensible Fasern des Trigeminus, deren Erregung reflectorisch den Schlingreflex hervorruft (SCHR. V. D. KOLK). Schon die reichliche Beimischung mucinhaltigen Speichels macht den Bissen schlüpfrig, noch mehr zum Hinabgleiten in der Speiseröhre macht ihn der Schleim geschickt, mit dem er sich bei seinem Vorbeigleiten an den Mandeln und der dortigen an Schleimdrüsen reichen Gegend überzieht. Die normale Bewegung der Speiseröhrenmuskulatur erfolgt durch den Vagus (S. 359).

Die Magenbewegungen.

Im Magen verweilen die verschluckten Speisen längere Zeit und müssen allseitig mit der Schleimhaut in innige Berührung gebracht werden, um die verdauenden Wirkungen des Magensaftes zu erfahren. Der Mageninhalt wird im Magen durch den Verschluss der beiden Mündungen zurückgehalten, welcher bei dem ventilartig gebauten Pylorus, Pförtner, aktiv auf Reiz der Magenschleimhaut durch die sie berührenden Stoffe erfolgt und so fest ist, dass auch am frisch ausgeschnittenen Magen hier keine Stoffe, selbst nicht Flüssigkeiten auslaufen. Die Cardia wird ausser durch ihre stark entwickelte Ringmuskulatur auch noch durch eine passive Magenbewegung geschlossen. Je mehr sich der Magen anfüllt, desto mehr dreht sich durch die gegebenen mechanischen Bedingungen seine grosse Curvatur, welche bei dem leeren Magen nach abwärts gewendet ist, nach vorne, so dass die kleine Curvatur, die sonst oben steht, nach hinten gewendet wird; die Drehung erfolgt um eine durch den Pylorus und die Cardia gehende Axe. Dadurch erfährt die Cardia eine Art Knickung, welche für das Wiederaustreten des Mageninhaltes noch oben hinderlich sein muss. Doch ist der Cardiaverschluss immer weniger fest als der des Pylorus.

Die Muskularis des Magens und der Därme. — Am Magen ist die aus organischen glatten Muskelfasern bestehende Muskelhaut nicht überall gleich dick. Während sie sich am Pylorus 1,65—2,2 mm dick zeigt, ist sie am Magengrunde ganz dünn (0,6—0,7 mm). Sie besteht aus drei aber unvollständigen Schichten. Nach KÖLLIKER liegen zu äusserst Längsfasern, die theils als Ausstrahlung eines Theils der Längsfasern des Oesophagus zu betrachten sind, von dem aus sie sich an der kleinen Curvatur bis zum Pylorus erstrecken, wo sie nach RÜDINGER einen eigentlichen Dilatator des Pylorus bilden, indem sie sich zwischen seine Ringfasern einschieben und diese schlingenförmig umgreifen, während die anderen an der vorderen und hinteren Magenwand und an der oberen Seite des Fundus frei auslaufen; theils als selbständige Fasern an der rechten Magenhälfte, von wo sie straff ausgespannt auf das Duodenum übergehen. Von der rechten Seite der Cardia an finden sich Ringfasern, bis zum Pylorus, wo sie am stärksten entwickelt den Sphincter pylori bilden. Zu innerst liegt die Schicht der schiefen Fasern, die den Fundus schleifenförmig umfassen und an der Vorder- und Hinterfläche des Magens schief gegen die grosse Curvatur sich wenden, wo sie zum Theil mit elastischen Sehnen an der Aussenseite der Schleimhaut sich ansetzen, theils sich unter einander verbinden (Fig. 81).

Der Darmcanal besitzt lediglich Längs- und Querfasern. Die erstern finden sich nur

an dem vom Gekröse freigelassenen Rande deutlicher, während die letzteren eine vollkommene Schicht bilden, die aber nicht in die KERKRING'schen Falten hineintritt. Am Dickdarm sind die Längsfasern wesentlich auf die drei 9—18 mm breiten Muskelbänder, Ligamenta coli, beschränkt, die am Coecum beginnen und am S-romanum in zwei Längsbündel zusammenfliessen, welche die Längsfaserschicht des Rectum bilden. Die Mastdarm-Muskulatur ist 2 mm dick und noch dicker, zu äusserst liegen die hier im Gegensatz zu anderen Darmstücken stärkeren Längsfasern aussen, die Ringfasern innen. Das letztere etwas dickere Ende der Ringfasern ist der Sphincter ani internus, mit dem dann der quergestreifte Sphincter externus und Levator ani sich verbinden.

Fig. 84.



Magen des Menschen, verkleinert. *a* Oesophagus mit den Längsfasern. *tr* Querfasern (zweite Lage) grösstentheils abpräparirt. *tr'* Querfasern am Fundus. *o* Fibrae obliquae, *p* Pylorus, *d* Duodenum.

Von den Bewegungen des Magens, welche zur Mischung der Speisen in ihm beitragen sollen, ist wenig zu bemerken. Ein frisch blossgelegter Magen eines in der Verdauung eben getödteten Thieres zeigt sich öfters ziemlich gleichmässig fest um seinen Inhalt angepresst. Doch sieht man noch gewöhnlicher peristaltische Bewegungen (cf. unten), von denen man nach älteren Beobachtungen anzunehmen pflegt, dass sie die im Magen enthaltenen Stoffe vom Grunde des Magens an der grossen Curvatur desselben hin und von da an der kleinen Curvatur zurückbewegen. Sicher drückt stets die allgemeine peristaltische Contraction der Magenmuskulatur gegen den Pylorus an, dessen fester Verschluss anfänglich den Durchtritt vollkommen verwehrt. Ziemlich bald schon treten in kleinen Mengen flüssige Stoffe durch, und nach einiger Zeit erfolgt pausenweise eine Eröffnung der Klappe, welche auch den festweichen und festen Stoffen den Durchtritt gestattet. BUSCH und BRAUNE beobachteten an Dünndarmfisteln, dass ein Theil der in den Magen gelangten Speisen, namentlich die mehr dünnflüssigen in 15—20 Minuten in den Dünndarm übertreten. Die Durchwanderung des Dünndarms braucht normal mehrere Stunden.

Der Verschluss an der Cardia ist von Anfang an nicht so fest, wie der am Pylorus. In grösserer Menge in den Magen hinabgeschluckte Gase, z. B. nach dem Genuss von kohlensäurehaltigen Getränken, können hier als an dem höchstgelegenen Orte wieder entweichen, was aber wohl nie ohne eine Mitwirkung der peristaltischen, den Inhalt pressenden Bewegungen der Magenmuskulatur erfolgt. Wenigstens geschieht das Entweichen der Gase mit einiger Gewalt, so dass öfters geringe Flüssigkeitsmengen mit aus dem Magen in den Oesophagus gerissen werden, die dann durch ihre saure Beschaffenheit zu jenem brennenden Gefühl in der Speiseröhre Veranlassung geben können, welches meist das »Aufstossen«, Ructus begleitet.

Die Bewegungen des Magens sowie der Verschluss und die Eröffnung des Pförtners werden zweifelsohne reflectorisch durch den Reiz der in den Magen gelangten Stoffe erzeugt. Damit steht es in Zusammenhang, dass sie um so stärker auftreten, je intensiver die reizende Ursache einwirkt. Flüssigkeiten reizen die sensiblen Magennerven für gewöhnlich nur in geringem Grade, so dass also auch der von den Gefühlsnerven auf die Bewegungsnerven reflectirte Bewegungsanstoss nur gering ist und geringe Muskelcontractionen hervorruft. Oft schon nach wenig Minuten verlassen verschluckte Flüssigkeiten den Magen durch den Pförtner. Festweiche oder feste Stoffe rufen kräftigere Contractionen der Magen- und Klappenschliessmuskulatur hervor. Wir sehen, wie innig auch hier das Ineinander-

greifen der verschiedenen Thätigkeiten desselben Organes sich zeigt. Die festen Stoffe bedürfen zu ihrer Verdauung ein längeres Verweilen im Magen und eine gesteigerte Absonderung von Magensaft. Der sensible Reiz, den sie auf die Schleimhaut durch mechanische Reizung ausüben, erzeugt nicht nur die geforderte stärkere Absonderung (wir sahen auf experimentelles Reiben an der Schleimhaut den Magensaft reichlich hervortreten), wir sehen denselben sensiblen Reiz sich auch auf die Bewegungsnerven des Magens reflectiren; starke Contractionen des Pylorus sind die Folge, welche die Magenöffnung langdauernd fest geschlossen halten, so dass auch die zweite Forderung für die Magenverdauung erfüllt wird und die festen Stoffe mehrere Stunden lang im Magen verweilen können.

Die Nervenmechanismen der Magenbewegungen. Aus den Beobachtungen geht hervor, dass der Magen seine nervösen Bewegungscentralorgane, auf deren Erregung seine geordneten Bewegungen erfolgen, in sich selbst besitzt, denn auch am ausgeschnittenen Magen sehen wir sie noch in regelmässiger Weise auftreten. Ausser den eigenen im Magen gelegenen centralen Bewegungsorganen, als welche die von Meissner, Auerbach u. A. beobachteten zahlreichen Ganglien in der Bindegewebsschicht des Magens angesprochen werden dürfen, erhält der Magen auch noch Zweige von Vagus und Splanchnicus. Durch vielfache Beobachtungen hat sich, wie es scheint sicher, herausgestellt, dass der Magen zu Bewegungen vom Vagus veranlasst werden könne, am leichtesten dann, wenn die im Magen selbst gelegenen nervösen Centralorgane im Zustande erhöhter Erregbarkeit sich befinden. Dieses ist z. B. der Fall, wenn der Magen schon einige Zeit im Zustande der Verdauung begriffen war. Es erfolgt dann auf Vagusreizung entweder eine einfache peristaltische Contraction oder eine Zusammenziehung, welche von der grossen Curvatur zur kleinen Curvatur herüberläuft (Bischoff). Dasselbe beobachteten van Braam, Houckgest und Sanders Ezn bei gesteigertem Blutdruck und Anfüllung der Magengefässe mit arteriellem oder venösem (dyspnoischem) Blute (cf. Darmbewegungen). Die eben angeführte Beobachtung ist auch darum von Bedeutung, weil sie uns ein Fingerzeig wird in einem der dunkelsten Gebiete der Nervenphysiologie. Sie zeigt uns, dass zum Zustandekommen gewisser auf nervöser Grundlage beruhender organischer Aktionen es nicht genügend ist, dass der anatomische Mechanismus vorhanden sei, sondern dass sich die nervösen Organe in dem Zustande der Erregbarkeit befinden müssen, der zweifelsohne zunächst einer bestimmten chemischen Zusammensetzung derselben entspricht. Durch die sensible Erregung von der Magenschleimhaut her müssen die Ganglienzellen erst in Thätigkeit versetzt werden, diese ruft eine durchgreifende chemisch-physikalische Aenderung derselben hervor, welche die Schranken gleichsam niederreisst, die sich dem Hereinbrechen eines Reizes von den allgemeinen centralen Nervenapparaten widersetzen. Der Reiz, welcher vorhin zu schwach war, Bewegung auszulösen, ist dazu nun im Stande, da die Bewegungshemmung verschwunden ist. Dadurch, dass chemisch-physikalische Aenderungen in nervösen Organen eintreten, sehen wir, da sich jene Umwandlungen theilweise auf sie übertragen, auch Nachbarorgane zur Thätigkeit geschickt werden, und wir begreifen so, wie Mitbewegungen, coordinirte Bewegungen etc. so leicht erfolgen können. Zu den Momenten, welche die Erregbarkeit der Magenganglien erfordert, gehört auch, wie bei allen Nerven, eine bestimmte Temperatur. Der leere ausgeschnittene Magen kommt in Bewegung, wenn man ihn bis 25°C. erwärmt (Caliburces).

Nach den Versuchen von Goltz über die Bewegung der Speiseröhre und des Magens bei Fröschen zieht sich nach Zerstörung des Gehirns und Rückenmarks die Speiseröhre der Frösche lebhaft zusammen und auch der Magen zeigt lebhafte Bewegungen. Durchschneidung beider Vagi ruft bei Fröschen die gleichen Erscheinungen hervor; der Krampf der Speiseröhre und des Magens kann auch reflectorisch durch Vermittelung der Medulla oblongata durch starke chemische oder andere Hautreize oder Reizung der Baucheingeweide hervorgerufen werden. Goltz erklärt die ersteren Versuche, wie wir oben, dadurch, dass er nach Zerstörung der den Magen und die Speiseröhre normal mitbeeinflussenden nervösen Centralorgane, oder nach Durchtrennung der Verbindungsbahnen zu denselben die Ganglienapparate der betreffenden Eingeweide in erhöhte Erregbarkeit versetzt wer-

den, sodass sie dann auf kaum bemerkbare Reize schon mit Contractionen der Muskulatur antworten. Uebermassig starke Reizung der betreffenden Stellen der Nervencentralorgane wirkt durch vorubergehende oder dauernde Lähmung derselben in dem gleichen Sinne. Bei Saugethieren sah man bisher nur in seltenen Fällen auf Vagusdurchschneidung Krampf der Speiseröhre (Schiff), meist ist danach das Oesophagusende gelahmt und wird, da es keine Bewegungen zum Weiterschaffen mehr macht, von den aufgenommenen Speisen angefüllt und ausgedehnt. Goltz' Versuche werfen Licht auf die Beeinflussung des Magens und der Speiseröhre durch Gemuthsbewegung und Schmerzen am Menschen (Erbrechen, Gefühl der Zusammenschnürung etc.).

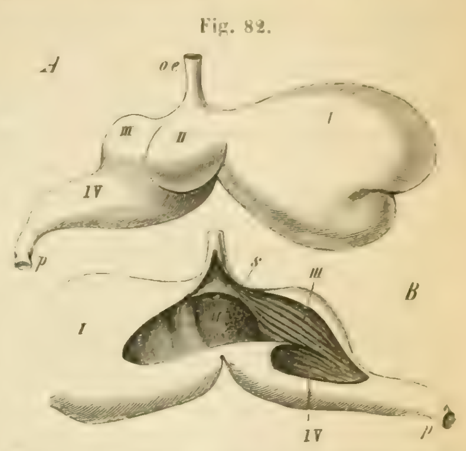
Zur vergleichenden Anatomie (cf. S. 303). — Der Darmcanal der Wirbelthiere zerfällt im Allgemeinen in den Anfangsdarm: mit Schlund und Magen, den Mitteldarm oder Dünndarm und den Enddarm oder Dickdarm mit Coecum und Rectum. Bei Amphioxus, den Cyclostomen und dem Proteus verläuft das Darmrohr wenigstens äusserlich ziemlich gleichmässig; die Unterschiede treten fast nur in der Schleimhaut der verschiedenen Abschnitte hervor. Bei den Fischen geht auch sonst meist die weite, langsgefaltete Speiseröhre ohne deutliche Grenze in den Magen über, der gewöhnlich einen nach hinten gerichteten Blindsack besitzt. Bei den Amphibien findet sich meist ein deutlicher Magen, der sich bei einigen quer zu stellen beginnt. Unter den Reptilien verläuft bei Schlangen und Eidechsen der wenig differenzirte Magen gerade, bei Schildkröten und Krokodilen finden sich dagegen höhere Entwickelungszustände, bei Schildkröten zeigt sich eine grosse und kleine Curvatur; der sackartige Magen der Krokodile erinnert durch sehnige Scheiben auf der Muskelfläche an den Vogelmagen. Bei den Vögeln, die noch meist die schon oben besprochene Erweiterung der Speiseröhre, den Kropf, besitzen, zerfällt der Magen in zwei Abschnitte, in den sogenannten Vormagen oder Drüsenmagen (Proventriculus), der als eine drüsenreiche Erweiterung der Cardia erscheint, und in den Muskelmagen. Bei den pflanzenfressenden Vögeln bilden die Muskelwände des Magens zwei starke muskulöse Schalen von glatten Fasern, die mit Hulfe der oben erwähnten fester werdenden, die Mageninnenfläche mit einer schwieligen Schicht bedeckenden Drüsensekrete, unter Mitwirkung verschluckten Sandes, zur Zermalmung der aufgenommenen Nahrung beitragen können. Der Dickdarm ist kurz und eng, an seinem Anfang stehen zwei Blinddärme. Mastdarm und Ausführungsgänge der Harn- und Geschlechtsorgane öffnen sich in eine gemeinsame Kloake.

Bei den meisten Säugethieren ist der Magen einfach, besonders bei den fleischfressenden. Auch bei den auf Pflanzennahrung angewiesenen Einhufern ist der Magen einfach, die Portio cardiaca zeigt aber noch das Epithel der Speiseröhre. Bei dem Hamster, der Wasserratte zerfällt der Magen in zwei deutlich geschiedene Hälften. Bei dem Riesen-Känguruh unterscheidet man drei, bei den Faulthieren vier Abtheilungen. Auch einige Affen haben zusammengesetzten Magen. Bei den Cetaceen kommt ein zusammengesetzter Magen sowohl bei den fleischfressenden als den pflanzenfressenden vor. Am bekanntesten sind die zusammengesetzten Magen der Wiederkäuer (Fig. 82). Hier finden sich vier Magen, nur der letzte gleicht durch seine Schleimhaut und Magenabsonderung dem Magen der meisten übrigen Säugethiere: Labmagen (Abomasus). Die drei ersten Abtheilungen sind mit dem Epithel der Speiseröhre bekleidet und stehen somit auf analoger Stufe wie die Portio cardiaca der Einhufer. Alle drei dienen zur vorläufigen Erweichung der vegetabilischen Nahrung unter Einwirkung des Speichels. Der Wanst (Pansen, Rumen) ist die erste, grosse Abtheilung; seine innere Oberfläche zeichnet sich durch viele platte Warzen aus. Die zweite kleinere Abtheilung ist die Haube (Netzmagen, Reticulum) mit zellenformigen, gezähnelten Falten der inneren Haut; sie steht mit der ersten Magenabtheilung in einem weiten Zusammenhang. Im dritten Magenabschnitt, dem Blättermagen (Omasus, Psalter, Buch), bildet die Schleimhaut eine grosse Anzahl hoher Längsfalten, die wie die Blätter eines Buchs neben einander sich erheben. Aus den beiden ersten Magen gelangt das erweichte Futter wieder in den Mund zurück, erst nachdem es wiedergekaut und fein zerkleinert ist, gelangt es an den beiden ersten Magen vorbei sogleich in den dritten und vierten. Indem die Rinne, durch welche die ersten

Magen mit der Speiseröhre zusammenhangen, sich schliesst, bleibt für den Bissen nur der Weg in die beiden letzten Magen (J. Müller).

Der Mitteldarm wird bei den Wirbelthieren von dem Anfangsdarm meist durch die ringförmige Pylorus-klappe des Magens abgegrenzt. In Beziehung auf Lange des Darmes bestehen die grössten Unterschiede, indem die Fleischfresser einen kurzen, aus wenig Windungen bestehenden, die Pflanzenfresser einen sehr langen Darm besitzen. Dass sich die Vermehrung der Magenabschnitte, wie die Verlängerung des Darms bei den Pflanzenfressern auf die bedeutendere Arbeit der Verdauungsorgane zur Bewältigung der vegetabilischen Nahrung bezieht, geht aus der merkwürdigen Umwandlung hervor, welche die Larven der ungeschwänzten Amphibien zeigen. Diese Larven leben von Pflanzennahrung; ihr Darm ist eine lange, in spiralige Windungen gelagerte Schlinge. Das ausgebildete Thier lebt von animaler Nahrung; in den letzten Larvenstadien stellt sich eine Reduction des Darms ein, der sich auf wenige Schlingen verkürzt. Die pflanzenfressenden Säugethiere leben umgekehrt nach der Geburt von animalischer Nahrung, von Milch. Der erste Magen der Wiederkäuer ist klein, so lange sie von Milch leben, und wächst erst mit der wachsenden Arbeit, die ihm zufällt bei dem Nahrungswechsel. Derselbe Unterschied zwischen pflanzen- und fleischfressenden Thieren findet sich in Beziehung auf den Darm auch bei den Vögeln. Bei den Fischen ist, wie gesagt, der Darm meist kurz; hier treten zuweilen compensatorische Vorrichtungen ein durch zahlreiche Schleimhautvorsprünge; bei den Rochen und Haifischen z. B. ist die innere Wand des Mitteldarms durch eine spiralige Falte ausgezeichnet, die ihn in zahlreichen Umgängen durchsetzt: Spiralklappe. Der Unterschied zwischen Mittel- und Enddarm dünnem und dickem Gedärm ist bei den Fleischfressern viel weniger ausgeprägt als bei den Pflanzenfressern. Der Grimmdarm ist bei den meisten Pflanzenfressern sehr weit und lang. Der Blinddarm ist bei Fleischfressern meist äusserst klein, bei Einhufern, Wiederkäuern und den meisten Nagern ungemein lang, beim Pferd 0,8, beim Biber 0,6 m. Bei Dasyurus unter den Beutelthieren findet sich dagegen weder Blinddarm noch ein Unterschied zwischen Dünn- und Dickdarm.

Fig. 82.



Magen einer Antilope. *A* Von vorne gesehen. *B* Von hinten geöffnet. *oe* Speiseröhre. *I* Rumen. *II* Netzmagen. *III* Blättermagen. *IV* Labmagen. *p* Pylorus. *s* Schlundrinne.

Von den Darmeinrichtungen der Wirbellosen war schon oben S. 304 die Rede. Hier sei nur noch einmal hingewiesen auf die Zahngerüste im Magen der Krebse und mehrerer Insecten (Orthopteren). Bei einigen fleischfressenden Insecten kommt ein zusammengesetzter Magen vor. Im Allgemeinen besteht der Darmcanal der Insecten aus der Speiseröhre, dem Saugmagen (nur bei Hymenopteren, Schmetterlingen, Zweiflüglern), dann dem Muskelmagen im Innern mit Zähnen oder Hornleisten besetzt (bei den fleischfressenden Käfern und den meisten Orthopteren) und dann dem Darm, der nach der Drüseninsertion noch in zwei Abschnitte zerfällt (J. Müller).

Die Dünndarmbewegungen.

Oeffnet man ohne weitere Vorsichtsmassregeln bei einem eben getödteten Säugethiere den Unterleib, so sieht man nach kurzer Zeit die vorher ziemlich

ruhigen Darme in lebhafte Bewegungen gerathen. Diese Bewegungen beginnen als Contractionen an einer Darmstelle; die Zusammenschnürung schreitet über die Schlingen fort, indem sie den Darminhalt, Gase manchmal mit hörbarem Geräusche, vor sich hertreibt, indem sich stets die höher gelegenen Stellen wieder erweitern. Die Bewegung wird so lebhaft, dass sich scheinbar eine Schlinge über oder unter der andern hin- und herschiebt, stets wieder, wie es erscheint, durch Berührung die anliegenden Schlingen zu gleich lebhafter Bewegung anreizend, so dass der Darm den Anblick vieler durch einander kriechender dicker Würmer darbietet. Die deutsche Bezeichnung »wurmförmig« ist somit für die peristaltischen Bewegungen gut gewählt (S. 355).

Innerhalb der nicht geöffneten Leibeshöhle sind die peristaltischen Darmbewegungen nicht so lebhaft, ebenso wenn man den Bauch unter 38° C. warmer 0,6% Kochsalzlösung öffnet (Sanders Ezn und van Braam Houckgeest). Calliburces fand, dass die Darmbewegungen etwas unter der normalen Körpertemperatur am lebhaftesten eintreten. Man sieht unter Umständen bei mageren Individuen die Darmbewegungen auch durch die dünnen Bauchdecken hindurch deutlich. Auf ihnen beruht ohne Zweifel das Fortrücken des Inhaltes im Darme.

Abgesehen von der Art der peristaltischen Contractionen selbst, welche, da sie von oben nach unten fortschreiten, ein Ausweichen des gepressten Inhaltes nach oben schon für sich allein erschweren, hindern dieses auch noch die klappenförmig gestellten Kerkring'schen Falten der Schleimhaut, die überdies noch als Oberflächenvermehrung der Darmschleimhaut analog den Zotten und Lieberkühn'schen Drüsen anzusehen sind. Ist einmal der Inhalt bis in den Dickdarm vorgerückt, so verhütet die Bauhin'sche Klappe am Coecum den Rücktritt. Im Dickdarm selbst scheinen für gewöhnlich die peristaltischen Bewegungen sehr gering zu sein. Dort verweilt der Darminhalt offenbar eine verhältnissmässig lange Zeit, welche hinreicht, um ihn, vor Allem durch fortgehenden Wasserverlust, in Koth umzuwandeln.

Die Darmbewegungen erfolgen normal auf reflectorischem Wege, indem die Muskeln von der durch den reizenden Inhalt und durch den vom Inhalt ausgeübten Druck erfolgenden sensiblen Darmschleimhauterregung aus in Thätigkeit versetzt werden. Da auch der ausgeschnittene Darm sich noch peristaltisch bewegen kann, da auch nach Zerstörung des Rückenmarks und Gehirns bei Fröschen die Verdauung noch ihren regelmässigen Gang geht, so ist es bewiesen, dass die nächsten nervösen Centralorgane, welche diesen Vorgängen vorstehen, in dem Darme selbst gelegen sind (Ganglien). Doch scheint der Vagus, wie die Speiseröhre und den Magen, so auch den ganzen Darm in Bewegung setzen zu können. E. Weber und H. Helferich haben diese Wirkung des Vagus am nur quergestreifte Muskelfasern besitzenden Darm von Tinca nachgewiesen, für Säugethiere hat sie neuerdings v. Braam Houckgeest sicher gestellt.

Pflüger hat gefunden, dass die Darmbewegungen noch andere nervöse Einflüsse von aussen her und zwar vom Splanchnicus aus erfahren. Er fand, dass auf Reizung des Splanchnicus und des Brusttheils des Rückenmarks die peristaltischen Bewegungen der Gedärme aufhören. Der Splanchnicus ist ein Hemmungsnerv für die Darmbewegung. Wir werden finden, dass dieses überraschende Verhalten, dass auf Nervenreiz eine vorhandene Be-

wegung vernichtet wird, in den organischen Vorgängen nicht einzig dasteht (cf. Herzbewegung, Vagus).

Eine antiperistaltische Bewegung des Darmes kommt normal beim lebenden Thiere nicht zur Beobachtung. Lokale kunstliche Reizung (mechanische oder electrische) erzeugen beim lebenden Thiere nur lokale Contractionen. Partielle Einschnurungen werden oft eingeleitet durch Bewegungen der longitudinalen Muskelfaserschicht (Pendelbewegung des Darms der Autoren), die von den eigentlichen wurmformigen, den Rollbewegungen des Darms zu unterscheiden ist. Rüdinger zeigte, dass der Splanchnicus neben sympathischen auch cerebrospinale Fasern erhält. Colon und Rectum erhalten motorische und sensible Fasern von dem die Art. mesent. inf. umspinnenden Plexus, aus dem unteren Theil des Rückenmarks.

Die Beobachtung Pflüger's über die hemmende Wirkung der Splanchnicus-Reizung konnten S. Mayer und v. Basch, Braam Houckgeest wie fast alle Experimentatoren, die über diesen Gegenstand arbeiteten, bestätigen. Die beiden Ersteren erklären den Erfolg bedingt von einer Einwirkung der Reizung auf die Gefässnerven; nur wenn durch die Reizung Gefässe des Darmes sehr verengt werden und dadurch die Zufuhr des reizend wirkenden venösen Blutes abgeschnitten sei, trete die hemmende Wirkung ein. Sie wollen eine analoge hemmende Wirkung auch gesehen haben, so dass im Gang befindliche spontane Darmbewegungen in auffallender Weise sich beruhigen, auf Kompression der Aorta, auf Aussetzen der Respiration und auf Vagusreizung. van Braam Houckgeest sah nach der Durchtrennung (Lähmung) beider Splanchnici die Därme mit Blut überfüllt und damit ihre Fähigkeit zu Bewegungen gesteigert. Bei Anämie sah auch er die Bewegungen sistirt. Er erklärte die hemmende Wirkung der Splanchnici daraus, dass ihre Reizung den Darm anämisch macht, analog wie S. Mayer und v. Basch (cf. unten). Später sprach er sich für eine noch directere nervöse Gegenwirkung des Splanchnicus gegen die Bewegungsnerven des Darms aus (S. 364).

Die Sensibilität des Splanchnicus ergibt die Schmerzhaftigkeit aller Operationen an ihm. G. Colin fand, dass die Arterien der Eingeweide (Magen, Milz, Leber, Pankreas, Nieren, Darm) empfindlich werden durch die sie umspinnenden Nerven. Die übrigen Arterien des Körpers sind unempfindlich.

Die chemische Ursache der Darmbewegungen.

Ein Licht auf die inneren Gründe des Zustandekommens der Bewegungen der Darmmuskulatur und damit der Muskelbewegungen überhaupt werfen die oben (auf S. 359 Magenbewegung) mitgetheilten Versuche. Es ergibt sich aus ihnen, dass gewisse chemische Veränderungen des Blutes (das Venöswerden desselben) und damit der Gewebsflüssigkeit, in den Muskelnerven oder Muskeln selbst als einer der letzten Gründe der Darmbewegungen aufgefasst werden müssen, abgesehen von der directen Reizung der Darmnerven. Verschliesst man bei lebenden Thieren die Luftröhre, so beginnen nach den Erstickungskrämpfen mehr oder weniger starke peristaltische Bewegungen der Därme, welche bei wieder gestatteter Respiration verschwinden. Denselben Effekt hat Kompression des Arcus aortae und der Pfortader, auch Verbluten und leichte Abkühlung der Gedärme. van Braam Houckgeest sah bei dem Eintritt der Erstickungsanfälle zunächst Aussetzen der Darmbewegungen mit Erbleichen der Darmblutgefässe (durch Reizung des Gefässcentrums), in der Folge füllen sich dann die Darmblutgefässe mit venösem Blute an (bei eintretender Lähmung des Gefässcentrums) und nun beginnen die Darmbewegungen.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass im normalen Organismus analoge Gründe wirksam werden. Wer erinnerte sich hier nicht an das Faktum, dass während der Verdauung, während also die peristaltischen Bewegungen vorzüglich gefordert werden, das Blut der Darmvenen in gesteigertem Maasse venöse Eigenschaften erhält, und mehr Kohlensäure im Gesammtblute vorhanden ist, wie schon die gesteigerte Ausscheidung dieses Stoffes durch die Athmung beweist?

Während der Anwendung der **Bauchpresse** verschliessen wir die Athemspalte längere Zeit. Es muss daraus derselbe Antrieb auf die peristaltischen Bewegungen resultiren, den eine künstliche Verschliessung der Trachea bewirkt. Es wirkt also die Bauchpresse in zweierlei Sinn befördernd auf die Darmentleerungen ein. Wahrscheinlich ist die Anregung der Darmbewegung das wichtigere von beiden Momenten. Dass es sich bei der Entstehung der Darmbewegungen um Anhäufung reizender Stoffe im Gewebe handelt, geht aus O. Nasse's Beobachtungen hervor, welcher die Darmbewegungen beschwichtigen konnte, indem er die Darmmuskeln durch Durchspritzen von 0,6 procentiger Kochsalzlösung durch ihre Blutgefässe auswusch.

Auch S. Mayer und v. Basch finden, dass durch die Anwesenheit von venösem Blut im Darm ein erregendes Moment für die irritablen Gebilde desselben gesetzt wird, ohne dass sie die Frage aufwerfen, ob der Grund des Reizes in dem Sauerstoffmangel oder der Kohlensäure des venösen Blutes liegt. Wichtig sind ihre oben erwähnten Beobachtungen, dass die nervösen Einwirkungen von Vagus und Splanchnicus zur Anregung von Darmbewegungen erst eintreten, wenn die reizbaren Gebilde des Darms durch die Einwirkung von venösem Blute erregbarer geworden sind, was in analoger Weise die oben mitgetheilte Beobachtung Bischoff's für den Magen ergab. Die hemmende Wirkung des Splanchnicus auf die Darmbewegung Pflüger wollen sie von Einflüssen der Rückenmarks- und Splanchnicusreizung auf die Gefässmuskulatur des Darms ableiten. Diese Annahme, die uns vielleicht einen ersten Einblick in alle nervösen Hemmungsvorgänge gewährt, lässt aber nicht nur ihre Deutung zu, dass das venöse Blut immer neu zugeführt werden müsste, um als neuer Reiz zu wirken. Wenn auf Splanchnicus- oder Rückenmarksreizung die Arterien des Darms ihr Lumen verengern oder verschliessen, so häufen sich im Darmgewebe die »reizenden Zersetzungsprodukte« in gesteigertem Maasse an, da sie durch den Blutstrom nicht mehr entfernt werden. In geringer Quantität sehen wir diese reizend, in grösserer aber Bewegung hemmend, ermüdend wirken, die Hemmung könnte sonach auch in »Ermüdung« begründet sein.

Das Nicotin im Tabak ist ein Erregungsmittel für die Darmbewegungen und befördert dadurch die Darmentleerung. Im Kaffee sind die empyreumatischen Oele, nicht das Kaffein, ebenfalls in diesem Sinne wirksam (O. Nasse).

Zur Entwickelungsgeschichte des Darms. — Die hintere Darmöffnung wird dadurch gebildet, dass das gemeinsame Darm- und Allantois-Ende: die Kloake, in eine in der sechsten bis siebenten Woche von aussen her einsinkende Grube durchbricht. Die gemeinsame Kloake wird in der Folge durch das Hervorwachsen einer Scheidewand zwischen Darm und Allantois: das Perinaeum, in eine besondere Oeffnung für den Darm und für die aus der Allantois sich bildenden Organe getrennt. Der Darmcanal bildet zuerst eine gerade, in seinem ganzen Verlauf ungefähr gleichweite Röhre längs der Wirbelsäule. In der vierten Woche entfernt sich der mit dem Nabelblasengang communicirende Theil des Darms von der Wirbelsäule, wodurch er eine knieförmige Knickung erfährt, in deren aus der Nabelöffnung hervorragende Spitze der bald obliterirende Ductus omphalo-mesaraicus sich einsenkt. Das Stück oberhalb der Darmnabelöffnung wird Dünndarm, das unterhalb gelegene Stück fast ganz Dickdarm. Die Grenze zwischen beiden wird bald durch eine kleine Ausstülpung: den Blinddarm angedeutet. Der Darm reisst sich von dem Bauchnabel los, dessen obliterirender Gangrest als fadenförmiger Anhang des unteren Ileumtheils noch im dritten Monat sichtbar ist. Sehr bald drehen sich die beiden Darmschenkel und bilden eine Schlinge, der bisher untere Darmabschnitt wird dadurch der obere Dickdarm, der früher obere Darmabschnitt bildet durch Verlängerung des Rohrs und gleichzeitige Verlängerung des Mesenteriums die Dünndarmschlingen. In der Lebergegend entsteht der Magen als bauchige Erweiterung, welcher später durch Drehung die Querlage einnimmt, wodurch seinen beiden Curvaturen und dem Fundus ihre Stellung angewiesen wird.

Das Rectum.

In grösseren Pausen, meist nur ein bis zwei Mal in 24 Stunden findet die Entleerung des Dickdarminhaltes, des Kothes, statt. Sie erfolgt durch die peristaltischen Contractionen der sehr entwickelten Muskulatur des Mastdarms, unterstützt durch die Wirkungen der Bauchmuskulatur, die sogenannte Bauchpresse (S. 364). Durch die kräftige Einathmung hält man dabei das Zwerchfell herabgepresst und verkürzt gleichzeitig alle Bauchmuskeln, wodurch ein allgemeiner Druck auf den Bauchinhalt ausgeübt wird, welcher diesen, soweit er frei beweglich ist, zu der bestehenden Oeffnung hinaus zu pressen strebt. Auch beim Harnlassen und bei dem Geburtsmechanismus sehen wir dieses Austreibungsmoment verwerthet.

Die den Koth austreibenden Kräfte haben den Widerstand der für gewöhnlich geschlossenen Sphincteren des Mastdarmes zu überwinden. Durch die Contraction des Levator ani wird das Ende des Mastdarmes über den festen in ihm befindlichen Inhalt gleichsam hinaufgestülpt, hinaufgezogen, gleichzeitig verhindert sie das Herauspressen des Mastdarmes aus der Anus-Oeffnung.

Die Dickdarmausbuchtungen geben dem Kothe seine charakteristische Gestalt.

Durch langanhaltende allzustarke Ausdehnung verliert der Mastdarm seine Fähigkeit zu Contractionen. Während im anderen Falle die Kothentleerung fast allein durch letztere erfolgt, wird bei Erschlaffung der Mastdarmmuskulatur vorzüglich die Bauchpresse zum Austreiben verwendet, der Akt ist dann sehr mühsam.

Offenbar werden auch die Austreibungsbewegungen des Mastdarmes reflectorisch durch Reize hervorgerufen, welche auf seine Schleimhaut stattfinden. Unter normalen Umständen wirkt der Druck des sich mehr und mehr ansammelnden Inhaltes als Reiz. Aber auch andere Schleimhautreize können den Drang nach Stuhlentleerung hervorrufen, ohne dass Kothanhäufung vorhanden ist.

Man hat darüber gestritten, ob die Sphincteren für gewöhnlich aktiv durch Muskelcontraction geschlossen seien, auch wenn kein Schleimhautreiz stattfindet. Man wollte aus der Bejahung dieser Frage beweisen, dass den Muskeln ein gewisser ruhender Contractionszustand — **Tonus** — zugeschrieben werden müsse. Die Beobachtung hat diese Frage noch nicht mit aller Sicherheit entschieden, doch scheint es wahrscheinlicher, dass die fragliche Contraction ihren Grund auch in wechselnder reflectorischer Erregung der betreffenden Muskelfasern besitze. Giannuzzi und Nawrocki banden an lebenden Thieren in das S-romanum eine Glasröhre ein, in welche sie von einem Gefässe aus Wasser einfliessen lassen konnten. Nach Durchschneidung der Nerven des Rectum bedurfte es eines viel geringeren Druckes, also einer viel niedrigeren Wassersäule in der Röhre, um ein stetiges Ausfliessen aus dem Anus zu erhalten. Sie schliessen daraus auf einen unwillkürlichen Tonus der Sphincteren. Das Experiment scheint aber ebenso mit der Annahme von Reflexwirkungen zusammen zu passen.

2.

Resorption der Nahrungsstoffe ins Blut.

Die Verdauung hat die Aufgabe, den meist, trotz der Gleichheit ihrer atomistischen Zusammensetzung, verhältnissmässig von den Stoffen des lebenden Körpers in ihren chemischen, namentlich aber in ihren physikalischen Eigenthümlichkeiten noch sehr verschiedenen Nahrungsstoffen die Eigenschaften einzuprägen, welche sie tauglich machen, direct sich an den Lebensvorgängen im Organismus zu betheiligen. Ohne dass diesen so umgewandelten Stoffen die Möglichkeit gegeben wird, aus dem Darmrohre in das Blut, den eigentlichen Ernährungssaft des Leibes, einzutreten, würden sie selbstverständlich für den Haushalt des Organismus werthlos bleiben.

Bei gewissen pathologischen Veränderungen des Darmlebens werden keine oder wenigstens fast keine Stoffe aus dem Darme aufgesaugt. Es ist klar, dass der Organismus bei diesem Zustande aus Hunger zu Grunde gehen könnte, wenn auch noch so viel Nahrungsmittel genossen und im Munde, Magen und Darme den verdauenden Einflüssen unterliegen würden. Die Lehre von der Resorption im Darmrohre steht der Lehre von der Verdauung an physiologischer Wichtigkeit nicht nach.

Die Gesetze, nach denen die Resorption erfolgt, sind noch nicht vollkommen aufgehellt. Die Zeit ist freilich vergangen, in der man den fraglichen Vorgang in rein vitalistischer Weise erklären durfte; der Magen ist nicht mehr das reissende Ungethüm, welches beständig nach Nahrung knurrt und die ihm gereichte unersättlich verschlingt. Kein grosser Fortschritt von dieser kindlichen Anschauung war es, wenn man den »Saugadern« oder den Blutkapillaren den Mund zuschrieb, welcher aktiv die verflüssigten Nahrungsstoffe in sich einsog, analog wie man gegenwärtig dem Protoplasma der Zellen des Darmepithels eine aktive, d. h. vitale Aufnahmsfähigkeit für Stoffe zuschreibt, was doch kaum etwas Anderes heissen kann, als dass uns die mechanischen Bedingungen der Aufnahme unbekannt sind.

Nach dem Bekanntwerden der osmotischen Vorgänge hat man allgemein die Diffusion als die Ursache des Uebertrittes der gelösten Nahrungsstoffe aus dem Darm in die Säftemasse angesprochen. Und es unterliegt keinem Zweifel, dass sie auch in Wahrheit in ausgedehntem Maasse hierbei zur Geltung kommt. Doch war es vorschnell, die Resorption allein als ein Produkt der Osmose aufzufassen. Abgesehen davon, dass der Stoff-Verkehr in den lebenden Organen und Geweben und durch sie hindurch nach einer specifischen Gesetzmässigkeit geregelt wird, worüber wir schon oben (S. 132 ff. u. a. a. O.) auch mit Beziehung auf die Verdauungsvorgänge ausführlich gehandelt haben, kommen neben der durch die Lebensvorgänge modificirten Osmose, und zwar in analoger Weise modificirt, auch die mechanischen Vorgänge der theils unter positivem theils unter negativem Drucke stattfindenden Filtration, vielleicht in noch ausgedehnterem Maasse als jene zur Wirkung. Mit diesen Vorgängen verbindet sich die oben erwähnte Fähigkeit des lebenden Protoplasmas (der Darmepithelien), aktiv auch festere Stoffe, z. B. Körn-

chen in der Art der Ernährung der Amöben (S. 118 Zellenfütterung) in sich aufzunehmen und die aufgenommenen ebenfalls aktiv wieder abzugeben; ein Vorgang, der namentlich bei der Fettresorption eine wesentliche Rolle zu spielen scheint. Die Resorption ist also ein zum grossen Theil aktiver Vorgang. Aktiv werden die Stoffe in die Darmschleimhaut aufgenommen, aktiv von hier weiter befördert. Beim Meerschweinchen hat A. Heller in den Lymphgefässen des Mesenteriums rhythmische, nach den Stämmen fortschreitende Contractionen der durch Klappen getrennten Abschnitte wahrgenommen, wodurch der einmal eingesaugte Inhalt von der Peripherie aus dem Centrum aktiv zugepresst wird.

Dass bei der Aufsaugung im Darme die Diffusion eine Rolle spiele, hat man daraus abgenommen, dass die Hauptmasse der ungelöst aufgenommenen Nährstoffe durch die Verdauung in leicht diffundirbare verwandelt wird. Die Eiweissstoffe, welche an sich wahrscheinlich gar keine wahren Lösungen zu bilden vermögen und deren endosmotisches Aequivalent darum nahezu $= \infty$ ist, erhalten nach Funke's Untersuchungen als Pepton die Fähigkeit, verhältnissmässig leicht durch thierische Membranen sowohl zu diffundiren als zu filtriren (S. 73, 256). Wie die Eiweissstoffe so wird auch das Amylum durch seine Umwandlung in Zucker durch den Verdauungsvorgang zu einem leicht diffundirbaren Stoffe.

Filtrationsströme entstehen, wenn auf der einen oder andern Seite die Flüssigkeiten Druckverschiedenheiten ausgesetzt sind. Solche Druckverschiedenheiten finden im Darme sicher statt. Es befindet sich der Darminhalt unter dem pressenden Einflusse der peristaltischen Bewegungen der ihn fortschaffenden Darmmuskulatur, also unter einem positiven Drucke. In der Contractilität der Zotten des Darmes und der Lymphgefässe finden wir ein Moment, das diesem eben genannten positiven Druck gegenüber auf der entgegengesetzten Darmseite zeitweilig einen negativen oder Saugdruck erzeugt. Auch Kapillarattraktionen könnten bei der Aufnahme mitwirken.

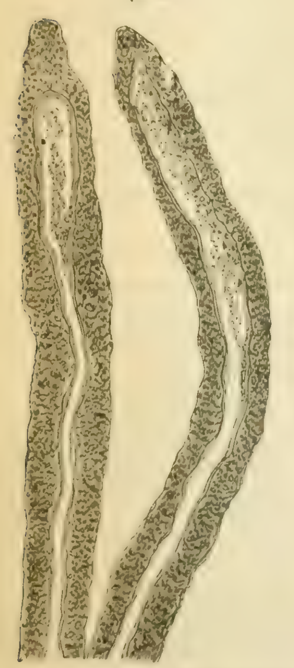
Bau der Darmzotten.

Die Darmzotten sind jene zottenförmigen Schleimhautvorragungen, welche der Darminnenfläche das sammetartige Aussehen für das unbewaffnete Auge verleihen. Sie sind mit einer Schicht derselben Cylinderepithelien überzogen, die wir auch sonst den Darm auskleidend finden. Es sind dieses jene Zellen, deren freier, oberer, verdickter Rand, »der Zellendeckel«, in einer zarten Streifung die Zeichen einer vielfältigen Durchbohrung durch feine Canälchen erkennen lässt (Kölliker, Funke u. A.). Andere halten diese Streifung für den optischen Ausdruck von stäbchenförmigen Protoplasmafortsätzen, welche bei Fröschen (namentlich im Winter gut zu beobachten) Bewegungen zeigen, deren Bewegungscentrum im verlängerten Mark liegen soll (v. Thanhoffer). An ihrem unteren Ende, mit dem sie der Schleimhaut ansitzen, verengern sich die Zellen und senden feine, hohle Ausläufer in das eigentliche innere Zottengewebe herein, welche sich wahrscheinlich mit den Ausläufern der das Zottengewebe durchsetzenden Bindegewebskörperchen zu einem zarten Canalnetze vereinigen (Heidenhain, v. Thanhoffer u. A.). Diese Bindegewebshohlräume

sollen nach Heidenhain die eigentlichen Kapillaren der in den Zotten befindlichen Lymphgefässanfänge sein. Danach existirt also eine offene Verbindung zwischen dem Darmlumen und den Lymphgefässen. Nach v. Thanhoffer wird durch dieselben Canälchen auch eine offene Verbindung mit den Blutgefässen, d. h. mit den »Saftcanälchen der Adventitia« hergestellt. E. H. Weber gab ein abgeschlossenes Chyluskapillarsystem in der Zotte an, andere behaupten die Fortbewegung der Lymphe in wandungslosen Hohlräumen (Funke, Brücke, Basch u. A.)

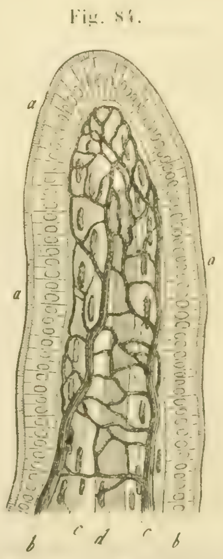
Die Grundsubstanz der Zotte hat im Allgemeinen denselben Bau wie die Darmschleimhaut. Wir finden ein Netz von Bindegewebskörperchen, oder Fasern, in welches reichlich rundliche, kernhaltige Zellen, von der Gestalt und

Fig. 83.



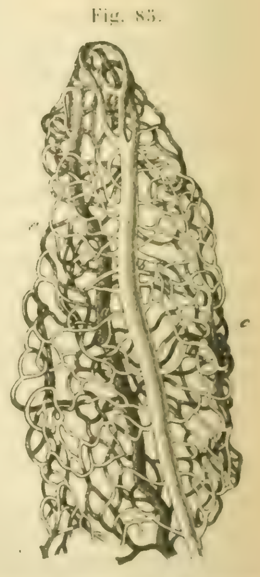
Zwei Zotten ohne Epithel mit dem Chylusgefäss im Innern, vom Kalbe, 350mal vergrössert und mit verdünntem Natron behandelt.

Fig. 84.



Eine Darmzotte nach Leydig. *a* Das mit verdicktem Saume versehene Cylinderepithelium; *b* das Kapillarnetz; *c* Längslagen glatter Muskelfasern; *d* das in der Axe befindliche Chylusgefäss.

Fig. 85.



Das Gefässnetz einer Darmzotte des Hasen mit dem arteriellen Stamm *b*, dem Kapillarnetz *c* und dem venösen Zweig *a*.

Grösse der Lymphzellen, eingelagert sind. An der Oberfläche stehen diese Zellen dichter. Zwischen Epithel und Zottengrundgewebe findet sich ein zarter, heller Gewebssaum, der als eine stärkere Entwickelung der ungeformten Zellenzwischensubstanz, nicht als eine eigentliche Grenzhaut erscheint. Die Zotte ist ein reichlich mit Blut- und Lymphgefässen und organischen Muskelfasern versehener Schleimhautfortsatz.

In dem Centrum der Zotten finden sich die Anfänge der grösseren Lymphgefässe oder, wie man sie im Darme nennt, Chylus- oder Michsaftge-

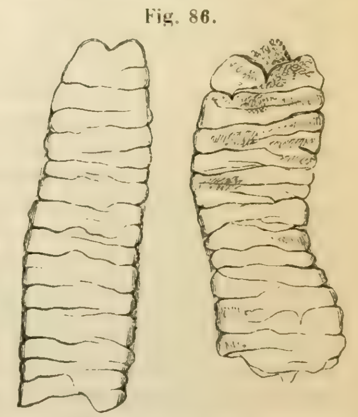
fässe. In schmäleren Zotten findet sich beim Menschen meist nur ein centrales Chylusgefäss, welches meist mit einer etwas kolbig angeschwollenen Ausbuchtung nahe unter der Zottenoberfläche endigt (Fig. 83). Manchmal beobachtet man zwei solche Stämmchen, welche sich im oberen Theile der Zotte schlingenförmig verbinden. Manche Thiere besitzen bis zu 4 Chylusstämmchen, die dann in der Zottenspitze ein grobmaschiges Netz bilden. Die Bindegewebskörperchennetze münden in diese Gefässchen. Sie haben nach Kölliker eine erkennbare Membran, welche nach v. Recklinghausen und His von Endothelien gebildet wird, und führen direct in die grösseren Lymphgefässe, welche besonders an ihren feinsten Anfängen mit reichlichen Klappen versehen sind, die den Flüssigkeitsstrom nur in centraler, von den Zotten abgekehrter Richtung gestatten.

Brücke entdeckte um die centralen Chylusgefässe der Zotten herum eine längslaufende Schicht organischer Muskelfasern aus sehr zarten, schmalen Faserzellen bestehend. Kölliker verfolgte sie zwischen die Lieberkühn'schen Drüsen in der Tiefe und fand ihren Zusammenhang mit den Muskelfasern der Mucosa.

Ausser diesen bisher genannten Gewebsbestandtheilen besitzt jede Zotte noch ein auffallend reiches Netz von Blutgefässen, welche, fast direct unter dem hellen Grenzsaum der Zotte gelegen, ein Gerüst für das übrige in sie eingeschobene Gewebe darstellen. Ein bis drei kleine Arterienstämmchen führen den Zotten das Blut zu, steigen unter reichlicher Kapillarverästelung in ihnen bis an die Spitze empor und sammeln ihre Kapillaren endlich wieder meist in ein grösseres Venenstämmchen (Fig. 84. 85).

Der Mechanismus der Aufsaugung durch die Zotten. — Die Muskelfasern der Zotten bewirken eine Zusammenziehung derselben, die sich als Verkürzung und Dickenzunahme zeigt (Brücke) (Fig. 86). Schiff behauptet, dass die Galle als Reiz für die Zottenmuskulatur fungire. Durch diese Zusammenziehung, wahrscheinlich unterstützt durch die nach den Stämmen rhythmisch fortschreitenden Contractionen der Chylusgefässe (bei dem Meerschweinchen von A. Heller beobachtet), wird sowohl der Inhalt der Blut- als der Chylusgefässe aus der Zotte herausgepresst. Sowie die Zottenmuskeln wieder erschlaffen, strömt das Blut wieder reichlich in die Zotte ein, und die grosse Anzahl der plötzlich sich füllenden Gefässe dehnt die Zotte wieder zu ihrem Umfange im ruhenden Zustande aus. Die durch die Contraction entleerten Chyluswurzeln können sich von den grösseren Chylusgefässen her der erwähnten Klappen wegen nicht mehr durch Rückfluss füllen. Sie werden durch die beschriebene Erektion der Zotten (Brücke) ausgedehnt, es entsteht dadurch ein negativer Druck in ihnen, der zur unmittelbaren Folge ein Ansaugen von Flüssigkeiten aus dem Darmrohre durch die Wege der Epithelzellen (vorausgesetzt, dass deren Protoplasma den Durchtritt gestattet) in die Chyluswurzeln herein haben muss. Eine zweite Contraction entleert die gefüllte Zotte wieder und macht sie von Neuem zum Ansaugen geschickt.

Fig. 86.



Zwei in Verkürzung begriffene Darmzotten der Katze. Vergr. 60.

Die Resorption ist also, soweit sie wirklich in Ansaugung besteht, bei denjenigen Thieren, welche Darmzotten besitzen, von einer Functionirung der Zottenmuskulatur abhängig. Alle Einflüsse, welche diese Muskelfasern lähmen, müssen die Resorption beeinträchtigen oder

ganz vernichten. Manche pathologische Störungen der Darmfunctionen scheinen auf solchen Lähmungen zu beruhen. Es muss hier darauf aufmerksam gemacht werden, dass schon ein gesteigerter Wassergehalt die Muskeln lähmt. Also werden alle Momente, welche bei gesteigerter Blutzufuhr ein Austreten von serösen Flüssigkeiten in die Zotten hervorrufen, die Aufsaugung hemmen können. Daher sind fast alle zu starken Darmschleimhautreize mit wässerigen Stühlen verknüpft, die sich aus einem Mangel der Aufsaugung der in normaler Weise in den Darm ergossenen Flüssigkeiten erklären lassen.

Eine andere Art von Resorptionsorganen beschrieb Letzerich, er befindet sich aber mit der Deutung seiner mikroskopischen Befunde in Widerspruch mit einer Untersuchung von F. E. Schulze u. A., welche sich auf dieselben Organe bezieht, welche von Letzerich für Resorptionsorgane, von Schulze für Schleimsekretionsorgane angesprochen werden. Zwischen den gewöhnlichen Cylinderzellen der Zotten und der Lieberkühn'schen Drüsen aller Wirbelthiere, auch des Menschen, finden sich grosse runde oder birnförmige deutlich contourirte Gebilde, Vacuolen. Letzerich lässt sie sich fortsetzen in deutlich begrenzte Schläuche, die unter dem Epithel im Bindegewebe der Zotte sich zu einem Netzwerk verbinden. Die Vacuolen haben eine nach dem Darmlumen gekehrte scharf umschriebene Oeffnung, so dass hier die Cuticula (Zelldeckelschicht) der Cylinderzellen unterbrochen erscheint. Letzerich hält die Vacuolen nicht für Zellen, sondern für frei ausmündende, durch die Schläuche sich mit dem centralen Chylusgefäss verbindende Anfangstheile des Resorptionsapparates. Bei geringer Fettfütterung sollen sich nur die Vacuolen mit Fett erfüllt zeigen. Die sogleich (S. 371) zu besprechende Fettfüllung der Epithelzellen des Darms soll eine pathologische Erscheinung sein, die den Untergang der Zelle zur Folge hat. Das Fortrücken des Inhaltes der Vacuolen soll durch stossweises Verkürzen und Strecken der Cylinderzellen erfolgen. Die Vacuolen Letzerich's besitzen ein Analogon in den offenen einsaugenden Mündungen der Lymphgefässe, welche v. Recklinghausen im Centrum tendineum des Zwerchfells, Andere an anderen Körperstellen nachgewiesen haben. Dass auch im Darm derartige Mündungen der Lymph- oder Chylusgefässe existiren, ist sehr wahrscheinlich.

Schulze beschreibt dagegen die Vacuolen als Becherzellen, da ihr oberer erweiterter offen stehender Theil (Theca) wie ein Rheinweinglas, Römer, mit einem verschmälerten Fuss, in dem ein Kern sich zeigt, auf der Membrana propria aufsitzt. Er fand die gleichen Organe ebenfalls im ganzen Darmcanal und in den Darmdrüsen der Wirbelthiere, im Epithel der Kloake, des Mastdarms bei Amphibien und Reptilien, im Epithel des Oesophagus, des Rachens, der Mundhöhle, sowie in der Nasenschleimhaut des Frosches. Vielleicht sind aber doch die ähnlichen Gebilde, welche er auf der Oberhaut sehr vieler im Wasser lebender Wirbelthiere gefunden hat, trotz ihrer Uebereinstimmung im Bau von den in den resorbirenden Schleimhäuten gefundenen Vacuolen functionell verschieden. In erster Beziehung sind Schulze's Beobachtungen ausserordentlich interessant. An den noch lebensfrischen Barteln von Cobitis fossilis konnte er aus ihnen die Absonderung einer schleimigen Masse direct unter dem Mikroskope beobachten. Aus jeder der runden Oeffnungen der Becherzellen wölbte sich ein kleiner Hügel einer hellen, leicht getrübten, wie Schleim aussehenden Masse hervor; derselbe wuchs ziemlich rasch in die Länge, schnürte sich dann an seinem unteren Ende etwas ein, so dass das Bild eines im Abtröpfeln begriffenen, zähen Tropfens entstand. Dann wurde diese untere halsartige Einschnürung immer dünner und zerriss zuletzt, das Klümpchen fiel ab, ein neuer Hügel derselben Masse erschien in der Mündung der Becherzelle, und es wiederholte sich mehrmals dasselbe Spiel. Deutlicher kann das Secerniren einer Zelle nicht beobachtet werden, und es ist mehr als wahrscheinlich, dass die Becherzellen einzellige Drüsen sind, die der Schleimabsonderung vorstehen. Donders beschrieb diese Becherzellen als veränderte Cylinderzellen. Andere halten die Becherzellen für Kunstprodukte. Einzellige Drüsen finden sich, wie wir wissen, bei niederen Thieren nicht selten. (S. 38.)

Zur vergleichenden Anatomie. — Die Schleimhaut des Darms der Wirbelthiere zeigt fast durchgängig Zotten und Leisten in mannigfachen Uebergängen. Am Allgemeinsten sind die Zotten bei Säugern und Vögeln. Sie fehlen auch manchen Fischen nicht. Auch Maulwurf

und Schnabelthiere besitzen sie trotz der älteren gegentheiligen Angaben. An grossen Darmzotten kann sich die Oberfläche derselben von Neuem zu secundären Zöttchen erheben, wie der Darm des Elephanten und des Rhinozeros lehrt (LEYDIG). Beim Hund sind die Zotten lang und schmal, bei dem Rind breit und kürzer.

Fettresorption.

Die Chylusgefässe am Darme zeigen sich etwa 4 Stunden nach Aufnahme fettreicher Nahrung alle reichlich mit einer weissen, milchähnlichen Flüssigkeit — Chylus — gefüllt, die, wie die nähere mikrochemische Betrachtung lehrt, durch feinste Fetttröpfchen, die in unzähliger Menge in ihr suspendirt sind, ein undurchsichtiges Aussehen erhält. Ueberall in dem Parenchyme der Zotten zerstreut finden sich grössere oder geringere Anhäufungen von feinsten oder grösseren Fetttröpfchen und Tropfen. Die Cylinderepithelzellen selbst zeigen sich so reichlich mit Fettmolekülen, denen hier und da auch einzelne grössere Fetttröpfchen beigemischt sind, erfüllt, dass oft der Kern nicht mehr sichtbar ist. Ehe man die kapillaren Canälchen an der Innenfläche des Darms resp. an der Oberfläche der Cylinderzellen, ehe man die wichtige Function der Galle und der durch die Pankreasverdauung gebildeten Seifen kannte, welche die feinen Kapillarwege der Zellen auch für Fett durchgängig machen, war diese Fetterfüllung sehr räthselhaft. KÖLLIKER konnte mit dem Mikroskope feine Fettstäubchen innerhalb der kapillaren Zwischenräume der Cylinderzellenoberfläche, also innerhalb jener feinen Canälchen, welche zwischen den auf der Zellenoberfläche stehenden (beweglichen?) Stäbchen freibleiben, nachweisen. Diese sammeln sich innerhalb der Zelle zu grösseren Tröpfchen und werden von da aus durch die Zottenbewegung und die anderen oben angeführten Kräftewirkungen in das mit den Darmepithelien offen communicirende (?) Canalsystem der Bindegewebskörperchen angesaugt. So sehen wir sie oft in ziemlich regelmässigen, manchmal netzförmig verzweigten Wegen, die ganz den Eindruck von Kapillaren machen, die Zotte erfüllen und dem centralen Chylusgefässe zustreben, das, durch die Erfüllung mit dem fettreichen Safte ausgedehnt, deutlich erkennbar ist. Hier und da ist die Fettanhäufung durch die ganze Zotte so gleichmässig, dass diese dadurch ganz undurchsichtig erscheint. In anderen Fällen finden sich nur sehr wenige fadenartige Streifen mit undurchsichtigem Fette erfüllt im Gewebe (E. H. WEBER, FUNKE).

Die Hauptmasse des Fettes wird zweifelsohne in den Zotten des Dünndarmes resorbirt. Aber auch in den Epithelzellen der übrigen Darmschleimhaut finden sich gelegentlich Fettanhäufungen. Bei säugenden Thieren z. B. fand KÖLLIKER Fett auch in den Epithelzellen des Magens. Aus dem bisher Erkannten geht, soweit wir die Verhältnisse bis jetzt überblicken, hervor, dass die Resorption des Fettes bei jenen Thieren und in jenen Darmabschnitten, welche Zotten besitzen, vor Allem der aktiven Aufnahme durch die Zotten, unter Mitwirkung von Filtration ihre Ermöglichung verdankt. Wo Zotten fehlen, haben wir, vielleicht neben jenen aktiven Saugmündungen der Lymph- und Chylusgefässe LETZERICH's, auf die uns bekannte (S. 130, 134) durch die Lebenseigenschaften der betreffenden Gewebselemente modificirte Osmose und Kapillarattraktion zu rekurriren. In beiden Fällen aber wird die aktive

Aufnahmefähigkeit des Protoplasmas der Darmepithelien sich an der Resorption mit betheiligen. Die Galle und die durch die Pankreasverdauung gebildeten Seifen machen die Porenwege für Fett leichter durchgängig, das sich dann in die ihm vorgezeichneten Wege einpressen lässt. Das Fett scheint zum grössten Theil direct zuerst in die Chylusgefässe zu gelangen.

Derselbe Weg steht auch Eiweisslösungen offen, die noch nicht in Peptone umgewandelt sind (S. 257, 373).

In Beziehung auf die Modificationen, welche Filtration, Osmose, Kapillarattraktion im lebenden Darmgewebe erfahren, ist dem S. 130 und 134 Gesagten nur wenig zuzusetzen. Vor allem muss noch auf eine bisher nicht gewürdigte physiologische Wirkung der Galle hingewiesen werden. Nach dem von uns ausgesprochenen Diffusionsgesetze lebender Gewebe und Organe dringen nur dann Substanzen durch Osmose, Filtration, Kapillarattraktion etc. in das Protoplasma, überhaupt in das lebende Gewebe ein und durch sie hindurch, wenn die Lebensenergie der Gewebe (des Protoplasmas) bis zu einem gewissen Grad geschwächt ist. Diese Schwächung kann aus inneren chemischen Umsetzungen (Anhäufung ermüdender Stoffe, cf. diese) oder von Aussen durch Andringen für das Zellenleben differenter Stoffe (cf. S. 135 u. a. a. O.) erfolgen. Unter letzteren nimmt die Galle durch ihren Gehalt an Gallensäuren eine hervorragende Stelle ein. Sie ermöglicht also nicht allein die Mischung von Fett und Wasser, sie (s. v. v.) öffnet auch die Gewebsporen des Protoplasma, ohne welchen Vorgang, an welchem sich auch eine Reihe anderer chemischer Stoffe mit betheiligt, ein Eindringen von Flüssigkeit in die Zelle durch Osmose, Filtration etc. nicht stattfinden konnte. Bei diesen Erörterungen darf auch die Kohlensäure, in lebenden Geweben stets vorhanden, nicht vergessen werden, welche ebenfalls »ermüdende Wirkungen« besitzt.

Betheiligung der Blutkapillaren an der Resorption.

Eine grosse Reihe von Thatsachen beweist, dass auch die Blutkapillaren des Darmes an der Resorption sich betheiligen und Stoffe aufnehmen. Wir werden nicht irren, wenn wir diese Resorption durch die Blutkapillaren vor Allem auf Rechnung der nach den Lebenseigenschaften der Gewebe modificirten Osmose setzen (cf. oben S. 130). In den Blutgefässen kreist das Blut, eine eiweisshaltige Flüssigkeit. Das endosmotische Aequivalent des Eiweisses ist fast ∞, d. h. für Spuren von Eiweiss gehen fast unbegrenzte Mengen Wasser durch Diffusion auf die Seite des Eiweisses, wenn wir durch eine todte thierische Membran getrennt Eiweiss und Wasser einander gegenübersetzen. Vor Allem wird es also Wasser sein, welches theilweise ausser in die Chylusgefässe auch in die Blutgefässe des lebenden Darmes direct übergeht. Die wahren Lösungen: Peptonlösungen, Zuckerlösungen, Salzlösungen etc. bedürfen zu ihrer Resorption nicht der Darmsaugeinrichtungen. Sie können schon in der Mundhöhle, in der Speiseröhre, im Magen aufgenommen werden, sie werden es auch, wenn man sie direct in eine frisch angelegte Wunde bringt. Vom Darmkanal aus gehen diese wahren Lösungen z. Thl. in die Vena portae über. Man hat in letzterer den direkten Uebergang von Rohrzucker (Bernard u. A.), Inulin (Hoppe-Seyler und Komanos) und Pepton (Hoppe-Seyler und Drosdorff) constatirt.

Das Blutgefässsystem und die Lymphgefässe theilen sich also in die aufzunehmenden Stoffe. Für die Fette wird der speciell endosmotische Vorgang im Darme trotzdem, dass die Durchtränkung der Gewebe mit Galle und Seifen, sowie die stark saure oder alkalische Reaction des Chymus sie ermöglicht, stets ein geringer sein. Dass er wirklich stattfindet, geht aber wohl daraus hervor, dass das aus dem Darme stammende Blut der Pfortader während der Verdauung einen bedeutenderen Fettreichthum erkennen lässt als andere Blutarten aus anderen Körpergegenden. Dasselbe scheint auch für die Eiweissstoffe zu gelten. Wenn sie auch als Peptone die Fähigkeit zu diffundiren erlangen, so bleibt dieselbe doch,

obwohl sie nach FUNKE fast zehnmal grösser ist als die des Eiweisses selbst, immer noch eine verhältnissmässig geringe, das endosmotische Aequivalent der Peptone ist im Verhältniss zu dem anderer Stoffe, z. B. Zucker, Salze, Säuren etc., immer noch ein sehr hohes. Je langsamer der endosmotische Vorgang verläuft, desto sicherer unterliegen die Stoffe der aktiven Aufsaugung durch die Darmzotten. Eiweissstoffe und Fett gelangen daher wohl zum grössten Theil in die Anfänge der Chylusgefässe. Ebenso geht dahin auch der grösste Antheil der leicht diffundirenden Stoffe, wie sich schon aus der Betrachtung des Vorganges ergeben würde, auch wenn sie in dem Chylus nicht mit Sicherheit schon nachgewiesen wären: Zucker, Salze, Milchsäure.

Es sind also vor Allem: Wasser, anorganische Salze, Eiweissstoffe, Fette, Zucker und einige Umsatzprodukte desselben, gemischt mit wieder aufgenommenen Resten der Verdauungssäfte selbst, welche das Blut durch Vermittelung der Chylusgefässe aus dem Darme aufnimmt. Die bei der Verdauung direct in das Blut gelangenden Stoffmengen scheinen dagegen verhältnissmässig gering.

Aerztliche Bemerkungen. — Resorption im Dickdarm. Die Versuche von C. VOIT, BAUER und EICHHORST über die Resorption von Albuminaten im Dickdarm sind für die Frage über die ernährenden Klystiere von Wichtigkeit. Flüssiges Eiereiweiss allein wird vom Dickdarm aus gar nicht oder nur spurweise aufgenommen, das osmotische Aequivalent desselben ist 706, das der Peptone 9.5. Peptonlösungen verschwinden rasch aus dem Darm. Wird durch Schlagen verflüssigtes Hühnereiweiss mit einer Kochsalzlösung gemischt als Klystier eingespritzt (bei Hunden), so geht mit dem Kochsalz auch das Eiweiss in das Blut über und der Umsatz der Eiweissstoffe des Organismus wird dem zugeführten Eiweiss entsprechend vermehrt, was sich durch vermehrte Harnstoffausscheidung zu erkennen gibt. Viel leichter als Eiereiweiss mit Kochsalz wird natürliches Muskelacidalbuminat, **Fleischsaft**, vom Dickdarm aus resorbirt. Man presst durch hydraulische Pressen das im Fleisch gelöste Eiweiss aus, das dann einen rothen, stark sauer reagirenden Saft darstellt. Im Mittel geben 1000 Gramm Fleisch 230 Gramm Wasser und 5,9% Eiweiss. Dieser Fleischsaft wird leicht im Dickdarm resorbirt. Das Infusum carnis frig. par. sec. LIEBIG enthält nur 1,14% Albuminate (cf. S. 174). Neben dem Albumin muss nach den bekannten Ernährungsgesetzen auch Fett oder wohl besser gelöste Kohlehydrate (Zucker z. B.) dem ernährenden Klystier zugemischt werden, wenn eine annähernd ausreichende Ernährung postulirt wird.

3.

Die Lymphe und der Chylus.

Das Chylusgefässsystem mit seinen Anfängen im Darme ist die wichtigste Quelle für die Erneuerung des Blutes. In Beziehung auf die directe Aneignung grösserer Quantitäten von Fett ist keine andere Aufnahmsquelle mit dieser zu vergleichen. Man darf bei der Wichtigkeit der Chyluszufuhr für das Blut aber nicht übersehen, dass die Ernährung des Blutes aus dem Darme nur ein specieller Fall der Ernährung und Erneuerung des Blutes aus allen Körperorganen sei. Wo das Blut die Organe durchströmt, trifft es auf Gewebsflüssigkeiten, welche die wichtigsten Blutbestandtheile: Eiweissstoffe, Salze, Zucker etc. in sich enthalten. Es muss unter den geeigneten Lebensbedingungen wie im Darme so auch dort ein Diffusionsverkehr zwischen den Organflüssigkeiten und dem Blute eintreten, der je nach dem Gehalte der beiden an den betreffenden Stoffen zu einer Mehrung oder Minderung derselben im Blute führen muss. Dazu kommt noch, dass in allen Organen sich eben solche Gefässe

wie die Chylusgefässe im Darme finden, in welche die Gewebsflüssigkeiten mit allen ihren Stoffen sich ergiessen: die Lymphgefässe, welche diese aus den Geweben empfangenen Stoffe gemischt mit den vom Darm stammenden gemeinschaftlich dem Venensystem zuführen. Besonders bei Betrachtung des Hungerzustandes wird diese Gleichheit der Functionen der Darm- und sonstigen Organlymphgefässe ersichtlich. Die Organe dienen dann als Reservoirs, aus denen das Blut die verbrauchten Stoffe sich ersetzt. Die festen Organbestandtheile werden nach und nach verzehrt, sie werden dabei zum Theil zunächst verflüssigt und in die allgemeine Säftemasse zur Betheiligung an den Aktionen derselben übergeführt. Es müssen dazu verflüssigende, verdauende Einwirkungen in den festen Geweben ebenso stattfinden wie an den festen in den Darmcanal zur Verdauung aufgenommenen Stoffen. In den Organen finden sich daher Verdauungsfermente vor. Das Pepsin, das bei der Resorption mit in die Säftemasse aufgenommen wird, wird in Organen mit leicht sauer werdender Reaktion dieselben auflösenden Wirkungen entfalten, wie im Darme. Sicher setzt wenigstens die Wiederlösung der in den Organen fest gewordenen Eiweissstoffe eine analoge Fermentwirkung wie die des Pepsins oder des Eiweiss verdauenden Pankreasfermentes voraus. Die Entdeckung des Pepsins in vielen Organsäften, namentlich im Muskelsafte (cf. oben S. 283), ist von diesem Gesichtspunkte aus wichtig, ebenso die Entdeckung diastatischer Fermente (S. 270). Die Lymphbildung in den Organen ist selbstverständlich eine immerwährend fortgehende Function; beständig wird mit dem Chylus gemischt auch Lymphe dem Blut zugeführt. Innere und äussere Ernährung — wenn wir als letztere die vom Darm aus bezeichnen wollen — findet stets gleichzeitig statt, nur überwiegt die Darmaufnahme zu gewissen Zeiten, während zu anderen die Aufnahme aus den Organen die bedeutendere ist.

Chylus und Lymphe sind also dem Wesen nach analog. Der Chylus ist die durch die Nahrungsaufnahme vermehrte Darmlymphe.

Bau der Chylus- und Lymphgefässe.

Chylus- und Lymphgefässe bilden zusammen ein vielverzweigtes Röhrensystem, welches in seinem Baue mit dem Venensysteme im Wesentlichen übereinstimmt. Im Allgemeinen ist der Verlauf der Lymph- und Chylusgefässe aus der Anatomie bekannt. Bemerkenswerth ist ihr Reichthum an Klappen, welche den Venenklappen entsprechen. Die grösseren Lymph- oder Chylusgefässe besitzen wie die Blutgefässe drei Häute. Die Intima besteht aus einer Epithellage von verlängerten Zellen aufliegend auf elastischen Fasernetzen. Die Media setzt sich aus querverlaufenden glatten Muskelfasern mit ebenfalls querlaufenden elastischen Fasern zusammen. In der Adventitia streichen die Bindegewebsfasern, aus denen sie besteht, nach der Länge, unter ihnen zeigen sich auch bei sehr feinen Lymphgefässen ebenfalls längslaufende organische Muskelfasern, welche sie von den feinen Venen unterscheiden lassen und die ihre (beim Meerschweinchen) beobachtete Contractilität erklären. Bei dem Ductus thoracicus schiebt sich zwischen das Epithel der Intima und die elastischen Fasernetze noch eine längsstreifige Lage ein. Die Media beginnt mit einer zarten längslaufenden Bindegewebslage (Kölliker).

Ueber den Ursprung der Lymphgefässe sind die Untersuchungsakten noch nicht geschlossen. Die verschiedenen Gewebe und Organe scheinen sich hierin verschieden zu verhalten. In den Geweben der Bindesubstanz (cf. diese) beobachtete man, analog wie oben von den Darmzotten angegeben, dass sie mit den Saftspalten, d. h. dem Saftcanalnetz, in welchem die Bindegewebszellen liegen, in Zusammenhang stehen, dass diese also gleichsam als feinste Lymphkapillaren anzusehen sind, in den Knoten dieses Netzes liegen die Protoplasmahaufen der Bindesubstanzen Zellen (Virchow, v. Recklinghausen u. A.). Es finden sich aber auch echte Lymphkapillaren, an denen man keine Schichtung der Wand beobachten kann. Bei den Batrachierlarven, an deren Schwänzen Kölliker diese Lymphkapillaren zuerst auffand, schienen sie ihm aus sternförmigen Zellen: — Bindegewebskörperchen, d. h. eben aus jenem Saftcanalnetz der Bindegewebszellen — hervorzugehen. Die echten Lymphkapillaren sind etwas weiter als die Blutkapillaren. In vielen Drüsen, in den Hoden etc. bestehen, wie es scheint, die Anfänge der Lymphgefässe in Gewebslücken, die sich erst im weiteren Verlaufe mit den eigentlichen Lymphkapillaren und Lymphgefässen verbinden. In der Substanz des Knochens, in der Leber, im Centralnervensystem werden kleinere Blutgefässe von relativ weiten, »perivasculären Lymphräumen« (His) vollkommen umgeben, das Blutgefäss verläuft eine Strecke innerhalb des Lymphgefässes, später durchbohrt es dessen Wandung und nun laufen die beiden Gefässe nachbarlich neben einander her. Auch die Adventitia der Blutgefässe des Gehirns besitzt Lymphräume (Virchow). Die serösen Säcke: die Höhlen des Peritoneums, der Pleura, des Pericardiums, der Serosa des Hodens, des Arachnoidealraums, der Augenkammer, des Ohrlabyrinths u. a. spricht man neuerdings als kolossale lymphatische Spalträume an, in welchen die Lymphgefässe mit freien weiten Oeffnungen: Stomata v. Recklinghausen's, beginnen (cf. unten und S. 383).

Ueber den Zusammenhang der Lymphgefässwurzeln mit den Blutgefässen haben die neueren Untersuchungen wichtige Aufschlüsse ertheilt. Die beiden Gefässarten verbinden sich direkt mittelst feinster Stomata der Blutgefässe (J. Arnold) durch ein System engster im Parenchym gelegener Canälchen, welche sich bei Zuständen venöser Stase und Oedem der Gewebe sowohl von den Blut- als Lymphgefässen aus injiciren lassen (cf. Cap. X.)

F. v. Recklinghausen zeigte an einigen Lymphgefässen ähnliche aktiv wirkende Apparate zur Einsaugung von Flüssigkeiten, wie wir sie in den Darmzotten kennen gelernt haben. Er fand, dass die Lymphgefässe des Centrum tendineum des Zwerchfelles in der Bauchhöhle Flüssigkeiten, welche kleine Körperchen suspendirt enthalten, aus der Bauchhöhle aktiv resorbiren. Diese Resorption lässt sich direct unter dem Mikroskop (bei 3—400facher Vergrösserung) beobachten. Bringt man mit Zuckerwasser verdünnte Milch auf ein sorgfältig ausgeschnittenes Stück der peritonealen Fläche des sehnigen Zwerchfellabschnittes, so sieht man über den oberflächlichen Lymphgefässen Strudel entstehen, welche die Milchkügelchen in das Lumen derselben einführen; auch rothe Blutkörperchen passiren dieselben, ohne ihre Gestalt zu ändern. Die Oeffnungen, in welche die Körperchen eintreten, sind etwa 3mal so gross wie ein rothes Blutkörperchen, meist von ovaler Gestalt an der Stelle gelegen, wo mehrere Epithelzellen des Bauchfells zusammenstossen (Stomata). Die seröse Flüssigkeit der Bauchhöhle, welche Lymphkörperchen enthält, scheint von diesen Saugorganen beständig während des Lebens eingesaugt, also aus anderen Quellen ebenso beständig wieder in die Bauchhöhle ergossen zu werden. Ein offen ausmünden-

des Lymphgefässsystem behauptet HJALMAR-HEIBERG auch für die Nasenschleimhaut, die er von zahlreichen feinen wandungslosen Rohrchen senkrecht durchsetzt findet, auch in der Schleimhaut des Larynx und der Trachea will er diese Röhrchen gesehen haben. (cf. oben LEYDIG's und SCHULZE's Beobachtungen S. 370). Am leichtesten sind die weiten Stomata v. RECKLINGHAUSEN's zu sehen am Peritoneum des Frosches.

Die Flüssigkeiten, welche in die Wurzeln der Lymph- und Chylusgefässe eintreten, sind in ihrer chemischen Zusammensetzung bedingt von der Mischung des im Darme enthaltenen Chymus und der specifischen Gewebe, aus denen sie stammen. Je nach der gereichten Nahrung, je nachdem die Aufsaugung durch die Blutgefässe eine grossere oder geringere Rolle spielt etc., wird der Chylus sehr wechselnde Zusammensetzung zeigen. Bei Hungernden sind die Chylusgefässe mit einer durchsichtigen, nur schwach opalescirenden Flüssigkeit gefüllt; wenn reichlich Fett in der Nahrung enthalten war, zeigt dieselbe Flüssigkeit jenes oben beschriebene milchähnliche Aussehen. Wir wissen, wie verschieden in den einzelnen Geweben und Organen der Stoffumsatz sich gestaltet. Es ergibt schon eine einfache Ueberlegung, dass die Lymphe aus jedem Organe eine andere Stoffmischung zugeführt erhalten muss; so verschieden die Parenchymflüssigkeiten sind, so verschieden wird die Zusammensetzung der Lymphe sein, die aus den betreffenden Organen herkommt. Die Chemie hat in Beziehung auf diese Fragen noch fast Alles zu leisten. Nirgends noch kennen wir mit genügender Schärfe die fragliche Zusammensetzung der zu Lymphe oder zu Chylus werdenden Flüssigkeiten. Ueberall, wo wir untersuchen können, sind die Flüssigkeiten dadurch, dass sie schon Lymphdrüsen passirt haben, in ihrer Zusammensetzung specifisch verändert. Wir kennen die Lymphe und den Chylus nur in schon verändertem, dem Blute verähnlichtem Zustande, wie ihn die Lymphdrüsen hergestellt haben.

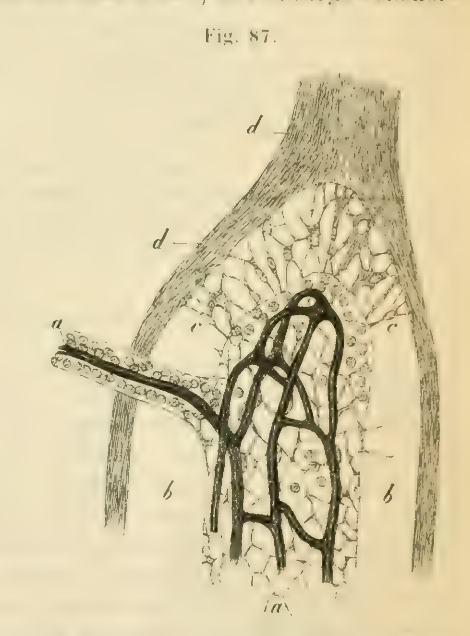
Bau der Lymphdrüse.

Unter den Lymphdrüsen sind vor Allem die Follikel zu nennen (S. 258). Die zartesten Lymphgefässe führen den rohen Saft ihnen zu, die Follikel selbst mischen ihm dann aus ihrem Inhalte geformte Elemente: Lymphkörperchen bei, unter deren Einwirkung der Chemismus der Lymphe und des Chylus seinen specifischen Charakter erhält. Die grösseren Lymphdrüsen zeigen in ihrem anatomischen Bau eine nicht zu verkennende Analogie mit diesen einfachsten Drüsenformen. Man kann die complicirteren Lymphdrüsen combinirte Follikel nennen.

Die Lymphdrüsen des Menschen besitzen einen bindegewebigen Kern: Hilusstroma (HIS), der eine Anzahl grösserer Blutgefässverästelungen und wahrer Lymphgefässe in sich einschliesst. An jeder Drüse finden sich zuführende und abführende Lymphgefässe. Auf dem Drüsendurchschnitt zeigt sich eine Scheidung zwischen Mark- und Rindensubstanz, erstere ist beim Menschen sehr gering entwickelt. Der feinere Bau ist nach den Untersuchungen von FREY, HIS, KÖLLIKER u. A. folgender. Jede Drüse hat eine Hülle, welche ein reiches Balkennetz in das Innere der Drüse abgehen lässt, wodurch diese in eine grosse Anzahl von unter einander communicirenden Hohlräumen getrennt wird, die in der Rinde mehr rundliche Gestalt haben und als Alveolen bezeichnet werden und eine ziemlich scharfe Abgrenzung zeigen; im Innern der Drüse sind die von den Balkennetzen gebildeten Hohlräume mehr länglich, strangförmig, vielfach unter einander verbunden. Die Hülle besteht mit ihren Balkennetzen bei dem Menschen vorzüglich aus Bindegewebe, dem aber eine nicht unbedeutende Zahl glatter Muskelfasern beigemischt ist. Bei Säugethieren (Ochsen) finden wir sie

fast ganz aus Muskelfasern bestehend. Innerhalb dieser Alveolen und schlauchförmigen Hohlräume liegt das eigentliche Drüsengewebe. Diese Drüsensubstanz besteht vor Allem aus einer grossen Menge jener uns schon bekannten rundlichen Zellen, die auch den Follikelinhalt ausmachen, welche ganz die Form und das Aussehen der Lymphkörperchen an sich tragen. In der Mitte jeder Alveole findet sich ein festerer Kern der Drüsensubstanz. Er zeichnet sich dadurch aus, dass er Blutgefässe in sich enthält, nach aussen hin ist der Zusammenhang der Zellen lockerer, hier finden sich keine Blutgefässe. Diese liegen nicht ganz frei in den Alveolen, sondern sind in ein Netz feiner, aus Bindegewebskörperchen bestehender, von den Balken abgehender Fasern eingebettet. Im Innern des Alveoleninhaltes wird dieses Netz dichter und befestigt sich an die Oberfläche der Blutgefässe (Fig. 87). Dieser festere, mittlere Drüsenkern in jeder Alveole, welcher nach der Gestalt der Balkenhohlräume in der Rindensubstanz mehr kugelig, in der Marksubstanz mehr strangförmig ist, bekommt im ersteren Fall den Namen: Rindenknoten, im zweiten: Markstrang. Die weniger festen, blutgefässlosen Umhüllungsschichten dieser Centraldrüsengebilde werden als Lymphräume, Lymphsinus, Umhüllungsräume bezeichnet. Wie gesagt, dürfen wir sie uns nicht als geschlossene Hohlräume vorstellen. Mit Ausnahme der Gefässe zeigen sie sich, wenn auch von lockerem Gefüge, doch ebenso gebaut wie die Rindenknoten und Markstränge. Da die Alveolen alle unter einander in offener Verbindung stehen, so befinden sich auch die Markgebilde mit einander in Verbindung, sie würden im Ganzen isolirt eine vielverzweigte und verbundene Figur darstellen. Ihre Bindegewebsfasern verdichten sich am Rande der Drüsensubstanz etwas mehr, so dass sie sich von den rings umgebenden Lymphräumen doch mehr oder weniger abschliessen, ohne dass eine eigentliche Membran vorhanden wäre. Die Lymphräume stehen ebenso wie die eigentliche Drüsensubstanz durch die ganze Drüse hindurch in ununterbrochener Verbindung und stellen somit ein vielverzweigtes Canalnetz dar zwischen den Balken und der eigentlichen Drüsensubstanz.

Fig. 87.



Aus der Marksubstanz einer von der Arterie mit Chromblei eingespritzten Mesenterialdrüse des Ochsen. Ausgepinselt und 300mal vergr. *a* Ein Markstrang, in dem das Kapillarnetz, das feine Reticulum und noch einzelne Lymphkörperchen sichtbar sind. *bb* denselben umgebender Lymphgang, in dem das überall vorhandene aus kernhaltigen Zellen bestehende Reticulum nur bei *cc* gezeichnet ist. Die Lymphkörperchen des Lymphganges sind ausgepinselt. *dd* Fast ganz aus glatten Muskeln bestehende Balken, *a* ein kleiner Markstrang mit nur einem Blutgefässe und mit Lymphzellen gefüllt.

Das Verhalten der Lymphgefässe zu den Lymphdrüsen ist folgendes. Die zuführenden Gefässe treten an die Hülle heran, durchsetzen diese und mün-

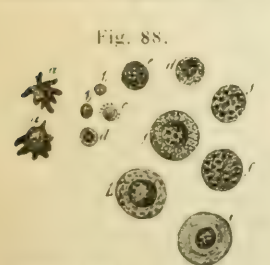
den in je einen Lymphraum ein. Auf der entgegengesetzten Seite sammeln sich die abführenden Lymphgefässe wieder aus den Lymphräumen. Es geht also die Bahn des Lymphstromes vom Vas afferens aus durch die Lymphräume der Rinde und des Markes zum Vas efferens. Auf diesem Wege, den sie sicher nur äusserst langsam zurückzulegen vermag, indem sie hindurch sickert, nimmt die Lymphe einen Theil der lose im Bindegewebsnetz eingebetteten Zellen mit sich, die sich aller Wahrscheinlichkeit nach aus dem Drüsenkern immer von Neuem ersetzen. Nach Brücke u. A. finden sich in der Lymphe, nachdem sie eine Drüse passirt hat, mehr Lymphkörperchen als vorher. Auch bedeutende chemische Umwandlungen müssen in den Lymphdrüsen vor sich gehen, da sich der hinter ihnen in den Lymphgefässen befindliche Saft wesentlich, vor Allem schon durch die Zumischung von Zellen, von dem Chymus und den Gewebsflüssigkeiten, aus denen er entstanden, unterscheidet.

Popper sah von den Kapseln der Lymphdrüsen aus marklose Nervenfasern in das Innere der Drüse dringen, wo sie ein dichtes Netzwerk bilden, dessen Aeste hier und da mit zelligen Elementen in Verbindung treten sollen; er behauptet auch das Vorkommen Ganglienzellen-ähnlicher Zellen mit grossem Kern und Fortsätzen.

Zusammensetzung des Chylus und der Lymphe.

Die Lymphe lässt eine farblose Flüssigkeit und beigemischte, farblose, kernhaltige Zellen unterscheiden, welche mit denen im Inhalte der Lymphdrüsen identisch sind und ebenso mit den später zu besprechenden weissen Blutkörperchen (Fig. 88). Ueberdies zeigt das Mikroskop feine Fettpartikelchen und Kerne. Die Lymphflüssigkeit (Lymphplasma) gerinnt wie das Blutplasma spontan und scheidet Faserstoff aus, enthält also die Fibringeneratoren A. Schmidt's (S. 397), fibrinoplastische Substanz in geringerer Menge als das Blut. Zusatz von Blut beschleunigt die Fibrinausscheidung. Mit Ausnahme des Blutfarbstoffes finden sich in der Lymphe überhaupt alle chemischen Bestandtheile des Blutes, und wie es scheint, zum Theil in ähnlicher Mischung wie dort: verschiedene Eiweissstoffe (in geringerer Menge als im Blut), Fette, die als feinste Körnchen sichtbar werden können, Zucker, die Blutsalze, Wasser, unter den Extraktivstoffen ist Harnstoff nachgewiesen worden. Der Chylus aus dem Ductus thoracicus verdauender Thiere unterscheidet sich im Allgemeinen chemisch von der Lymphe hauptsächlich durch seinen Reichthum an suspendirtem Fett während der Verdauung fetthaltiger Nahrung; er enthält ebenfalls Harnstoff. Unter dem Mikroskope zeigt er, wie schon erwähnt, jene Masse molekuläres Fett hier und da nach Stehen untermischt mit grösseren Fetttröpfchen, das Fett gibt ihm seine Undurchsichtigkeit und weisse Farbe. Bei Thieren (Hunden) wird er beim längeren Stehen an der Luft etwas röthlich gefärbt, was von rothen Blutkörperchen herrührt, die sich ihm fast immer bei-

Fig. 88.



Elemente des Chylus. *a* Durch theilweise Zusammenziehungen sternförmig gewordene Lymphkörperchen, *b* freie Kerne, *c* ein solcher von einigen Körnchen umgeben, *d*, *e* kleine Lymphzellen, die eine mit deutlichem Kerne, *f*, *g* grössere Zellen, eine mit sichtbarem Kerne, *h* eine solche nach Zusatz von wenig Wasser, *i* Essigsäure.

gemischt finden, und die von Manchen wenigstens bei Thieren für keinen anormalen Bestandtheil gehalten werden. Sie werden, da sie leichter sind als die weissen Körperchen, an der Oberfläche des Chyluskuchens beim Stehen angehäuft, dieser röthet sich dadurch.

Der Chylus lässt seine Abstammung aus den verdauten Nahrungsstoffen an gewissen Verschiedenheiten je nach der Nahrungsweise noch erkennen. Nach fettfreier Nahrung ist der Chylus durchsichtig wie Lymphe, wie diese durch die beigemischten Zellen nur leicht opalescirend, ebenso im nüchternen Zustand, wo man ihn als Darmlymphe bezeichnet. Die Fette des Chylus zeigen je nach dem aufgenommenen Fett Verschiedenheiten, sie sind flüssig oder leicht erstarrend, je nachdem flüssiges oder festes Fett aufgenommen wurde. Jedes der feinen Fettstäubchen soll mit einer Eiweisshülle umgeben sein (?). Auch seifenartige Verbindungen, aus der Fettzersetzung im Darm durch das Pankreassekret stammend, können nachgewiesen werden. Ebenso zeigt ein Theil der Albuminstoffe des Chylus noch die Eigenschaften der Peptone, ein anderer weit grösserer Theil zeigt sich als Serumeiweiss, wie dieses im Blut sich findet, ein anderer Theil lässt sich durch Essigsäure fällen, Kalialbuminat, ein vierter, sehr geringer, schon durch Kohlensäure: Globulin. Die Fibrinausscheidung wurde schon erwähnt. Zucker — Traubenzucker — ist im Chylus nicht immer vorhanden; er findet sich besonders nach zucker- oder stärkereicher Kost, wodurch seine Aufnahme in den Chylus aus dem Darme bewiesen wird. Der Zuckergehalt kann zwischen 1—2 % betragen. Nach Stärkefütterung fand LEHMANN im Chylus milchsaure Salze.

Das Vorkommen von Harnstoff in dem Chylus, das WURTZ entdeckte, ist insofern interessant, da daraus hervorgeht, dass wenigstens ein Theil des Harnstoffs, der aus der Nahrung stammend den Organismus verlässt, schon im Darm und in seinen Geweben, wahrscheinlich in den Lymphdrüsen, gebildet wird. Im Chylus von Rindern fanden sich etwa 0,2 pr. mill. Harnstoff (0,192 und 0,189). Daraus, dass in der Halslymphe 0,213 Harnstoff gefunden wurden, darf nicht gefolgert werden, dass er in der Lymphe in grösserer Menge vorhanden sei, wenn man die Versuchsschwierigkeiten bei einer quantitativen Harnstoffbestimmung in eiweisshaltigen Flüssigkeiten bedenkt. Die mit den jetzigen quantitativ ungenauen Beobachtungsmethoden in verschiedenen Blutarten gefundenen quantitativen Schwankungen im Harnstoffgehalt können ebensowenig in vergleichender Richtung verwerthet werden (cf. Cap. VIII. Harnstoff in der Leber u. a. a. O.). Bei einem Widder fanden sich im Blute 0,25 pr. mill. im Chylus: 0,28 Harnstoff.

Die chemische Zusammensetzung der Lymphdrüsen ist so gut wie unbekannt. GORUP-BESANEZ gibt in den Lymphdrüsen von Thieren und Menschen Leucin FRERICHS und STÄDELER, und xanthinähnliche Körper als Bestandtheile an. OIDTMANN fand in einer Inguinaldrüse einer alten Frau: Wasser 71,5 %, feste Stoffe 28,5 %, davon Salze 1,2 %. Es geben diese Thatsachen keine Anhaltspunkte, um auf die Stoffvorgänge in den Lymphdrüsen Schlüsse zu gestatten, auch nicht für die aufgetretene Annahme, dass die Lymphdrüsen die Hauptstätten der Harnstoffbildung seien, analog wie für die Milz nachgewiesen wurde, dass in ihr die Harnsäure der Hauptmasse nach entstehe (H. RANKE). Ueber den Harnstoffgehalt der Organe cf. unten bei Harnstoff.)

Als Beispiel der quantitativen Zusammensetzung mag die Analyse des Chylus eines Hingerichteten nach OWEN REES dienen: Wasser 90,5 %, feste Stoffe 9,5. Davon Faserstoff Spur, Albumin 7,1, Fette 0,9, Extraktivstoffe 2,0, Salze 0,4.

Die Zusammensetzung der anorganischen Stoffe ist sehr bemerkenswerth. Es findet sich

darin ein Gehalt an Eisen, welches wahrscheinlich von dem Haemoglobin beigemischter rother Blutkörperchen stammt. Die Hauptmasse besteht aber aus Kochsalz, gegen welches alle anderen Bestandtheile sehr zurücktreten. Nach den Bestimmungen von C. Schmidt am Chylus von Pferden waren enthalten in 1000 Gramm Chylus: Chlornatrium 5,84, Natron 1,17, Kali 0,13, Schwefelsäure 0,05, an Alkalien gebundene Phosphorsäure 0,05, phosphorsaurer Kalk 0,20, phosphorsaure Magnesia 0,05, Eisen 0,004. Die Trennung der Analyse in Serum und Chyluskuchen zeigt, dass im Verhältniss in letzterem, der die Chyluskörperchen oder Zellen enthält, das Kali etwas überwiegt, es findet sich aber Kali auch in dem Serum, in 1000 Serum 0,11, in 1000 Kuchen 0,70. Doch ist die Kalimenge überhaupt so gering, dass daraus ein wichtiger Unterschied zwischen dem Chylus und dem Blut erwächst, den wir erst in der Folge werden würdigen können.

Alle diese Bestimmungen werden einen höheren Werth erhalten, wenn vergleichende Beobachtungen über die in der Nahrung enthaltenen Salze und die im Chylus sich findenden vorhanden sein werden. Es kann jetzt immer noch scheinen, als wäre der Hauptgrund der eigenthümlichen Salzvertheilung in dem Chylus nur in der Salzzufuhr zu suchen. Ein vergleichender Blick auf die Zusammensetzung der Lymphasche, welche weniger diesem Verdachte unterliegt, zeigt aber doch, dass wir es hier wahrscheinlich auch mit einer Mischung aus inneren Gründen zu thun haben, da sonst die sich zeigende unverkennbare Uebereinstimmung beider nicht erklärlich wäre. C. Schmidt fand in der Asche der Lymphe aus dem rechten Halslymphstamme eines jungen Pferdes: 1000 Lymphe enthielten: Chlornatrium 5,67, Natron 1,27, Kali 0,16, Schwefelsäure 0,09, an Alkalien gebundene Phosphorsäure 0,02, phosphorsaure Erden 0,26. In dem Kuchen, der die Lymphkörperchen einschliesst, überwiegen relativ die Kalisalze über die Natronsalze bedeutender, als das bei dem Chylus der Fall war, umgekehrt ist es im Lymphserum. In 1000 Serum sind 0,11 Kali, in 1000 Kuchen 1,07 Kali. Ebenso ist es mit der Phosphorsäure. Nasse fand in der Pferdelymphe kohlensaures Alkali: 0,06%, Dähnhardt auch in der Lymphe vom Menschen.

Ueber die Verschiedenheiten der Zusammensetzungen der Lymphe bei verschiedenen physiologischen Zuständen ist noch wenig erforscht. Die Untersuchungen von C. Schmidt lassen aber die Lymphe in so vollkommener Weise in chemischer Abhängigkeit von dem Blute erscheinen, dass es mehr als wahrscheinlich ist, dass sich auch bei ihr vor Allem die verschiedenen Ernährungszustände von grosser Bedeutung zeigen werden, die wir bei dem Blute die Zusammensetzung bestimmen sehen. Nasse fand in zahlreichen Untersuchungen die Lymphe des Hundes bei vegetabilischer Nahrung wasseriger als bei Fleischnahrung, Hunger zeigte nur wenig Einfluss auf die chemische Zusammensetzung. Es wäre falsch, die Lymphe als ein einfaches Transsudat aus dem Blute ansehen zu wollen. Schon der hohe Zuckergehalt zeichnet die Lymphe vor dem Blute aus und lässt sie als einen eigentlichen Gewebssaft erscheinen. Der Zucker ist ein konstanter Lymphbestandtheil und findet sich nicht nur in der Lymphe der Leber z. B., sondern auch in der Halslymphe, zum Beweise, dass ihr auch andere Gewebe (Muskeln) beständig Zucker beimischen. Nach Poiseuille und Lefront war während der Verdauung an Zucker pr. mille

	im arteriellen Blute:	im Inhalte des Duct. thor.:	in der Halslymphe
bei einem Hunde	Spuren	1,09	1,66
- - Pferde	0,69	2,20	4,42

Nach dem Hungern soll die Lymphe wasserärmer (Nasse, Krause) sein als nach Nahrungsaufnahme, nach Gmelin auch albuminreicher. Nach dem Durchgang durch die Lymphdrüsen fand Gmelin die Lymphe ebenfalls procentisch etwas reicher an Albumin.

Die Menge der Lymphe. — Nach Bidder beträgt die täglich gebildete Chylusmenge etwa 1/6—1/4 des Körpergewichts. Ludwig und Krause berechnen für die Lymphmenge die enorme Grösse von 1/4—2/5 des Körpergewichts. Lesser erhielt aus dem Ductus thoracicus eines nüchternen (curarisirten) Hundes bis 1,2cc in der Minute. Es beweisen diese Zahlen, wenn nicht mehr, doch so viel, dass es ein gewaltiger Säftestrom ist, welcher im intermediären

Kreislauf den Organismus von Zelle zu Zelle durchfliesst und den Stoffverkehr zum grossen Theil besorgt. Andere Forscher erhielten jedoch auch weit niedrigere Werthe für die Lymphmenge. EMMINGHAUS fand, dass in der Haut und ihrem Fettpolster normal nur äusserst wenig Lymphe erzeugt wird, die Absonderung tritt erst in grösserer Menge auf, wenn der Venenblutabfluss oder »das elastische Gleichgewicht der Gewebstheile zu einander« gestört wird. Die Lymphmenge ist nach NASSE von der Nahrung abhängig, am geringsten ist sie bei Hunger, am reichlichsten bei Fleischnahrung.

Lymphgefässfisteln. — Aus zufällig entstandenen Lymphgefässtisteln und Lymphgefässwunden hat man Lymphe vom Menschen in grosser Quantität zur Untersuchung gewonnen. Die Resultate geben, da sie sich nicht auf bekannte physiologische Zustände beziehen, nur ein ungefähres Bild der Stoffmischung, die sich hier überhaupt finden kann. Beispielsweise stehen hier Analysen von Lymphe einer gesunden 39 jährigen Frau, aus einer Lymphgefässwunde am Oberschenkel gewonnen, es flossen im Tage bis gegen 3000 Gramm ab, nach GUBLER und QUÉVENNE (I und II), sowie eine Analyse von HENSSEN und DÄNHARDT (III):

	I.	II.	III.
Wasser	939,87	934,77	987,7
feste Stoffe	60,13	65,23	12,3
Faserstoff	0,56	0,63	2,6
Serumalbumin, Globulinsubstanz	42,75	42,80	
Fett, Cholesterin, Lecithin	3,82	9,20	0,03
Extraktivstoffe	5,70	4,40	1,28
Salze	7,30	8,20	8,38

Die Asche von III enthielt:

lösliche Salze:		unlösliche Salze:	
NaCl	6,148	CaO	0,132
Na_2O	0,573	MgO	0,011
Ka_2O	0,496	Fe_2O_3	0,006
CO_2	0,638	P_2O_5	0,118
$SO_3.P_2O_5$ etc.	0,221	CO_2	0,015
NH_3	0,16	$MgCO_3$ etc.	0,021

Bei derartigen Fisteln wird es unschwer möglich sein, den Einfluss verschiedener Nahrung und anderer physiologischer Bedingungen experimentell zu untersuchen. Die vorstehenden Untersuchungen zeigen, dass der Fettgehalt der Fistellymphe nicht unbeträchtliche Schwankungen bei demselben Individuum erkennen lässt; es wird das wahrscheinlich aus der verschiedenen Ernährungsweise sich erklären lassen. Die Chemie der Lymphe ist ein Capitel, welches der Untersuchung noch ein reiches Feld der Thätigkeit darbieten würde.

Die Gase der Lymphe. — HENSSEN und DÄNHARDT fanden durch Kochen austreibbare Kohlensäure in der Menschenlymphe, die in der Lymphe an Natronphosphat gebunden war. HAMMARSTEN konnte ausser geringen Stickstoffmengen in der Hundelymphe nur Kohlensäure sicher nachweisen. S. TSCHIRIEW fand den Kohlensäuregehalt der Lymphe erstickter Thiere geringer als den des gesammten Blutes und Serums.

Nerveneinfluss auf die Lymphabsonderung. — Muskelbewegungen und Muskelkrämpfe beschleunigen den Ausfluss aus Chylus- und Lymphfisteln zunächst durch die mechanische Pressung auf die gefüllten Gefässe (S. 383). GOLTZ sah die Lymphbewegung unter einem Einfluss von Seiten der nervösen Centralorgane stehen (S. 383). NASSE konnte die Lymphmenge durch Reizung der Gefässnerven beeinflussen.

Man bezeichnet vor Allem die Bewegung der Lymphe und der übrigen Gewebssäfte, soweit sie nicht in den Bahnen der Blutgefässe, sondern durch die Zellen etc. der Gewebe stattfindet, als intermediären Säftekreislauf. Aus den kapillaren Blutgefässen treten er-

nährende Flüssigkeiten aus, welche nach Durchtränkung der Gewebe als Lymphe wieder in den Blutstrom übergeführt werden. Die grosse Menge der Lymphe (etwa gleich der Blutmenge), zu welcher noch die Darmlymphe (Chylus) mit den von aussen zugeführten und von den Verdauungsdrüsen so massenhaft ergossenen Flüssigkeiten kommt und die Gesammtmenge der Lymphe, je nach der Ernährungsweise wesentlichst beeinflusst, gibt uns ein Bild von dem mächtigen Strom von Ernährungsflüssigkeit, der beständig die Gewebe badet. Die Menge Flüssigkeit, die dem Gewebe zugeführt wird, ist zunächst abhängig von der Menge des zuströmenden Blutes.

Zur historischen Entwickelung der Lehre von der Lymphe und Lymphaufsaugung. — Im Jahre 1622 wurden die Lymphgefässe von Caspar Aselli entdeckt. Man nannte sie Vasa absorbentia, Saugadern, da man ihnen die Aufsaugung, welche man vorher den Blutgefässen, vor Allem den Kapillaren zugetheilt hatte, allein zuschreiben zu müssen glaubte. Allgemeine Beobachtungen über die Lymphe wurden schon von Sömmering u. A. gemacht. Sömmering entdeckte den Faserstoff der Lymphe. Aus dem Jahre 1799 stammen die ersten analytischen Untersuchungen von Reuss und Emmert. Sie erkannten die Lymphkügelchen, die in einer sonst gleichartigen Flüssigkeit aufgeschlemmt seien. Im Jahre 1825 untersuchte Lassaigne Lymphe aus den Lymphgefässen am Halse von Pferden. Eingehendere, vor Allem qualitativ wichtige Untersuchung fand die Lymphe von Tiedemann und Gmelin. Im Jahre 1831 wurde in Bonn, im Jahre 1838 in Halle eine Lymphfistel beobachtet, letztere wurde von Marchand und Colberg zu genaueren Analysen benützt, wodurch zu den schon erkannten Stoffen (Eiweiss, Kochsalz, Chlorkalium, phosphorsaurer Kalk) noch Fette, kohlensaures und milchsaures Alkali, schwefelsaure Kalkerde und Eisenoxyd hinzugefügt wurden. Aus dem Jahre 1832 sind die Untersuchungen von J. Müller über die Chylus- und Lymphkörperchen, an welche sich vor Allem die von C. H. Schultz 1836, die von Bischoff 1838 anschliessen. Auch die Untersuchungen von R. Wagner und H. Nasse sind zu nennen. Tiedemann und Gmelin haben, wie es scheint, die Fettkörnchen im Chylus und ihre Beeinflussung der Farbe desselben zuerst erkannt.

Endosmose. — Eine sehr vollkommene Auseinandersetzung der physikalischen Verhältnisse der Absorption durch Lymphgefässe und Blutgefässe gab Berzelius (Thierchemie 1831). Das Phänomen der Endosmose wurde im Jahre 1816 von Porret entdeckt, zunächst gemischt mit derjenigen Flüssigkeitsbewegung durch electrische Ströme, die man jetzt das Porret'sche Phänomen nennt. Dutrochet hat dem Vorgang die Bezeichnung Endosmose und Exosmose beigelegt und die Aufmerksamkeit auf seinen Einfluss bei den Processen der lebenden Organismen gelenkt. Poisson hat eine mathematische Erklärung gegeben, welche die älteren Ansichten von G. Magnus bestätigte.

Die Bewegung der Lymphe in den Lymphgefässen

geht nur langsam und unter einem weit geringeren Druck als in den Blutgefässen vor sich (Noll); es sind die Widerstände in den Lymphdrüsen, welche die Strömungsgeschwindigkeit so sehr beeinträchtigen. Die Kräfte, welche die Lymphbewegung erzeugen, sind zum Theil dieselben, welche wir bald als die Bewegungskräfte des Venenblutes wiederfinden werden. Vor Allem ist zu nennen die durch die Athmungsorgane und ihre Thätigkeit entstehende Aspiration des Thorax, welche auf die Lymphbewegung von Einfluss ist, da die Einmündungsstelle der Lymphstämme in das Venensystem und der grösste Theil des Ductus thoracicus in dem Brustraume sich befinden. Die reichliche Anwesenheit der Klappen macht jeden äussern Druck, ausgeübt auf die Lymphgefässe, zu einer Fortbewegungsursache für ihren Inhalt, da ein Rückfliessen

der einmal vorwärts weggepressten Lymphe durch die sich entgegensetzenden Klappen verhindern wird, derselbe Grund hindert von vornherein ein Rückwärtspressen, mag der Druck stattfinden, wie und wo er will. So reichen schon die Zusammenziehungen der die Lymphgefässe umlagernden Körpermuskeln hin, um die Lymphe und den Chylus (ebenso wie das Venenblut) vorwärts, der Einmündungsstelle in die Blutbahn zu, zu pressen; man hat das experimentell erhärtet. Doch scheint aus den neuen Untersuchungen aus dem Ludwig'schen Laboratorium mit Sicherheit hervorzugehen, dass die Muskelbewegung nicht nur einen schnelleren Lymphabfluss aus den Reservoirs derselben, sondern auch eine reichlichere Lymphbildung in den Muskeln selbst zur Folge hat (cf. unten). Der Saugmechanismus am Anfange der Chylusgefässe in den Zotten wird dadurch, dass er aus den Anfängen den Inhalt in die weiteren Gefässe einpresst und den vorher dort befindlichen also fortschieben muss, eine Gesammtbewegungsursache. Ein eigentliches Centralbewegungsorgan für die Lymphe, wie es das Blut im Herzen besitzt, fehlt bei dem Menschen und bei den meisten Thieren. Goltz hat einen von den nervösen Centralorganen ausgehenden Einfluss auf die Lymphbewegung und -Aufsaugung aufgefunden (cf. Cap. XXVI).

Ludwig hat mit Genersich und Schweigger-Seidel nachgewiesen, dass die Sehnen und Fascien der Skeletmuskeln sich an der Aufnahme der Lymphe aus dem Muskelgewebe wesentlich betheiligen. S. 375 wurde auf die Entdeckung v. Recklinghausen's hingewiesen, dass in dem Centrum tendineum des Zwerchfells offene Mündungen: Stomata sich finden, welche die Lymphe mit ihren Körperchen aktiv einsaugen. Analoge, nur sehr viel engere Oeffnungen scheinen auch in den übrigen Fascien zu liegen, es gelingt nicht, Körnchen zum Eintritt in die reichen Lymphgefässe dieser Organe zu veranlassen. Durch rhythmisches Anspannen und Erschlaffen der Aponeurosen saugen sich ihre Lymphgefässe mit Flüssigkeiten an. Da bei der Muskelaktion ein solcher Wechsel zwischen Anspannen und Erschlaffen der Aponeurosen eintritt, so wirken dann diese Organe wie Saugpumpen auf die Muskelgewebsflüssigkeit (Lymphe), die bei aktiven und passiven Bewegungen der Muskeln sehr viel reichlicher, als in der Ruhe in Lymphgefässe eingepumpt wird. Unter grössere Fascien z. B. F. lata eingespritzte Lösungen werden durch dauernde passive Bewegungen bis in den Ductus thoracicus gepumpt. Im Muskel selbst sind die Lymphgefässe sehr wenig zahlreich. Die rhythmische, von der Peripherie gegen die Stämme fortschreitende Contraction der kleinen Lymphgefässe, die Heller bei Meerschweinchen fand, wirkt in demselben Sinne. Brücke hat in den Lymphdrüsen Zusammenziehungen beobachtet.

Geschwindigkeit der Resorption und des intermediären Kreislaufs. — Macnamara und Houghton injicirten in eine (vorher entleerte) Hydrocele Jodtinktur und konnten schon nach 4—5 Minuten Jod im Harn nachweisen.

Aerztliche Bemerkungen. — Die Menge der in dem Gewebe in einem gegebenen Moment befindlichen Flüssigkeit (Lymphe) nimmt zu mit der Behinderung des Rückflusses in den Venen und Lymphgefässen. Dadurch regulirt sich die Höhe der Spannung im Gewebe: Gewebsspannung, **Turgor**. Die Lymphgefässe müssen nach dem Gesagten als Hauptregulatoren des Gewebsturgors aufgefasst werden. Sind die Regulatoren in ihrem Dienste behindert, so entsteht **Oedem**, der Zustand krankhaft gesteigerter Gewebsspannung. Die Flüssigkeit, welche zu Lymphe wird, tritt aus den Kapillarwandungen zunächst in die Gewebslücken, die Anfänge der Lymphgefässe, und in die Lymphkapillaren ein. In den Blutkapillaren herrscht ein höherer Druck als in den Lymphkapillaren, dieser Druckunterschied ruft, wenn die Gefässwände für Filtration durchgängig sind, ein Ueberpressen von Flüssigkeit aus dem Blutserum in die Lymphgefässe hervor. Die Durchlässigkeit der aus Zellenprotoplasma bestehenden Gefässwände ist aber unter verschiedenen Um-

standen sehr verschieden. Es sind neben der Erweiterung der normalen Stomata der Gefässwände (S. 375) chemische Umgestaltungen des Protoplasmas, welche hier wirksam werden, ebenso wie bei den S. 133 beschriebenen Filtrations- und Imbibitionsversuchen: Bei Beeinträchtigung der Lebensenergie der Gefässwände steigt ihre Durchlässigkeit. So erklären sich die Beobachtungen COHNHEIM's über den Einfluss, welchen Stauung des Blutes durch Behinderung des venösen Abflusses im Kapillarsystem auf die Durchlässigkeit der Gefässwände für weisse Blutzellen äussern, die bald leicht bald gar nicht hindurchgehen. Ebenso die Versuche RANVIER's, welche durch kapilläre Stauung oder Verlangsamung des kapillären Abflusses (durch Verengerung der Vena cava) mit gleichzeitiger Steigerung des arteriellen Blutzuflusses (durch Durchschneidung der Gefässnerven) Oedem der unteren Gliedmassen erzeugte. TOMSA und NASSE d. Aelt. sahen den Lymphstrom zunehmen bei Venenunterbindung oder Venenverengerung. Hier haben wir überall die Wirkungen verstärkter Venösität des Blutes, welches das Kapillarprotoplasma umströmt, seine Lebensenergie herabsetzt und dadurch den Flüssigkeitsdurchtritt steigert. In analogem Sinn erklärt sich die Steigerung der Lymphbildung bei mit Curare vergifteten Thieren (PASCHUTIN u. A.) und z. Thl. bei der Muskelreizung.

Ehe man auf die Verschiedenheiten aufmerksam wurde, welche die Durchlässigkeit der Kapillarwände je nach ihrer Lebensenergie zeigen, glaubte man, dass für die Lymphmenge die Druckhöhe im Blutkapillarsystem die Hauptbedingung sei. Die Versuche ergaben, dass mit Steigerung des Drucks im Blutkapillarsystem auch eine gesteigerte Lymphbildung erfolgt, aber diese Steigerung kann bei unversehrter Lebensenergie der Kapillarwände, wobei nur eine minimale Lymphbildung eintritt, nur undeutlich zur Beobachtung kommen; ist aber einmal durch Störung in der Lebensenergie der Kapillarzellen die Filtration in erhöhtem Maasse eingeleitet, so ist die Wirkung des gesteigerten arteriellen Drucks sehr auffallend und konstant. So konnte PASCHUTIN bei unvergifteten Thieren keinen oder wenigstens keinen konstanten Einfluss der Steigerung des Blutdrucks auf die Lymphmenge nachweisen, während bei curaresirten Thieren Steigerung des Blutdrucks (durch Erwärmen des Gesammtthiers) die Lymphmenge deutlich ansteigen liess.

NASSE d. Aelt. sah nach Aderlassen (bei unvergifteten Thieren), nach Injection von verdünnter Kochsalzlösung in die Gefässe die Lymphmenge steigen. PASCHUTIN sah mit der Dauer des Versuchs die Lymphmenge im Allgemeinen sinken, die festen Stoffe der Lymphe aber zunehmen.

Pathologische Transsudate. — Chemisch ist die Oedemflüssigkeit, das **Gewebswasser**, von der eigentlichen Lymphe wesentlich verschieden. Erstere zeichnet sich durch ihren hohen Wassergehalt aus. Eiweissstoffe enthält sie oft nur in geringsten Spuren. Regelmässig zeigen sich in den wahren Oedemflüssigkeiten und pleuritischen serösen Ergüssen reducirende Substanzen, Zucker; die Zuckermenge schwankt bei entzündlichen Exsudaten nach C. BOCK von 0,06—0,2 $^0/_0$. C. SCHMIDT untersuchte mehrfach pathologische Transsudate von einem und demselben Individuum in den verschiedenen serösen Höhlen und im Bindegewebe, mit übereinstimmenden Resultaten. Wir geben eine seiner Versuchsreihen. 100 Gramm Flüssigkeit enthielten:

	Pleura:	Peritoneum	Hirnhöhle	Oedem der Extremitäten:
Feste Stoffe:	36,05	21,09	16,46	11,30
Davon Salze:	7,55	9,77	8,48	7,70

Die Transsudate aus den verschiedenen Kapillarbezirken ordnen sich nach SCHMIDT stets in der aus der obigen hier ersichtlichen Reihe: am ärmsten an organischen Stoffen (= Differenz zwischen Salzen und festen Stoffen) ist die Oedemflüssigkeit der Extremitäten, am reichsten das Transsudat der Pleura, während die Mengen der anorganischen Salze sehr geringe Schwankungen erkennen lassen.

Zur Entwickelungsgeschichte und vergleichenden Anatomie. — Im Froschlarvenschwanze sollen die feinen Lymphcanäle durch Zellenverschmelzung entstehen (KÖLLIKER).

Mehrfach hat man die pathologische Neubildung von Lymphgefässen beobachtet. Aus dem frühen Auftreten von weissen Blutkörperchen im Blute des Embryo will man auf eine frühzeitige Entwickelung der Lymphelemente schliessen. Nach REMAK gehen die ersten Lymphzellen aus den Axenzellen ihrer Gefässanlagen hervor, analog wie die ersten Blutkörperchen aus den Anlagen ihrer Gefässe. Die Entstehung der Lymphdrüsen ist noch zu wenig erforscht, als dass hier auf die vorliegenden Angaben eingegangen werden könnte. Nach ENGEL gehen sie aus sprossentreibenden und vielfach sich windenden Lymphgefässen hervor. Die Lymphdrüsen werden erst um die Mitte der Fötalzeit (KÖLLIKER) deutlich.

Die Entwickelung der Lymphgefässe und ihrer Drüsen im Thierreiche scheint überhaupt erst mit weiterer Ausbildung des Körpers verknüpft zu sein; entsprechend ihrem späteren Auftreten im Embryonalleben sollen sie bei Amphioxus fehlen. Peripherisch bilden die Lymphgefässe durch reichliche Anastomosen eine Art von Kapillarsystem, daraus gehen allmälig weitere Räume, entweder Canäle oder unregelmässig abgegrenzte Sinuse, hervor, an deren Stelle erst bei den höheren Abtheilungen Gefässe treten, die im Bau mit den Venen verwandt sind (GEGENBAUR). In der Nähe der Einmündung in Venen zeigen bei manchen Thieren die Lymphgefässe beträchtliche Erweiterungen, deren Wand, durch einen Muskelbeleg ausgezeichnet, rhythmische Contractionen ausführt: **Lymphherzen.** In einzelnen Fällen wurden Contractionen am Caudalsinus von Fischen beobachtet. Bei den Reptilien, dann bei dem Strauss und dem Casuar und einigen Schwimmvögeln finden sich (1 oder 2) hintere Lymphherzen. Bei Fröschen sind sie sowohl an den hinteren als vorderen Mündungsstellen vorhanden, die vorderen lagern auf den Querfortsätzen des dritten Wirbels, die hinteren hinter den Darmbeinen. Der Herzraum ist bei Vögeln mit Muskelbalken und bindegewebigen Strängen durchsetzt. Die Fasern sind quergestreift. An allen wahren Lymphherzen besteht ein Klappenapparat. Nach Einigen sollen die nervösen Centralorgane der Bewegung der Lymphherzen im Rückenmark, nach Anderen in der Herzsubstanz selbst liegen, wahrscheinlich liegen sie an beiden Orten.

Als Beispiele der Zusammensetzung der Lymphe von Thieren mögen folgende Analysen dienen nach Beobachtungen von NASSE am Hunde und C. SCHMIDT am Pferde (Füllen):

	I Pferd:	II Hund: a) bei Hunger:	b) bei Fleischnahrung:	c) bei vegetabilischer Kost:
Wasser	955,36	954,68	953,70	958,20
Feste Stoffe	44,64	45,32	46,30	41,70
von letzteren Fibrin . . .	2,18	0,59	0,72	0,45
anorganische Salze . . .	7,47	NaCl: 6,72	6,50	6,77

Die anorganischen Salze zu I bestanden aus NaCl: 5,67; Na_2O: 1,27; K_2O: 0,16, SO_3: 0,09; P_2O_5 (an Alkalien gebunden) 0,02; $Ca_3(PO_4)_2 + Mg_3(PO_4)_2$: 0,26 (v. GORUP-BESANEZ).

II. Das Blut.

Zehntes Capitel.

Das Blut und die Blutdrüsen.

Allgemeine Functionen des Blutes.

Die Aufgaben, welche das Blut als Flüssigkeit im Organismus zu erfüllen hat, sind wesentlich zweierlei Art. Es hat einerseits den Organen die Stoffe zu liefern, welche diese zu ihrer Thätigkeit bedürfen, also die innere Organernährung zu besorgen. Die Thätigkeit aller Organe beruht im Wesentlichen auf dem regelmässigen Fortgang von organischen Oxydationsvorgängen. Das Blut führt, um das Organleben zu erhalten, den Organen nicht nur das oxydirbare Material, sondern auch den oxydirenden Sauerstoff zu, der in gewissem Sinne auch als ein Nahrungsstoff und zwar als der wichtigste aufgefasst werden kann. Neben diesen Ernährungsleistungen des Blutes, die sich im Allgemeinen als eine Stoffzufuhr zu den Organen kennzeichnen, fällt dem Blute die zweite Hauptaufgabe zu, die in den Organen unbrauchbar gewordenen oder unverbraucht austretenden Stoffe aus diesen wieder aufzunehmen. Letztere werden theilweise anderen Organen als Nahrungsstoffe zugeführt, soweit sie zur Theilnahme an den Organfunctionen noch geschickt sind. Ein nicht unbeträchtlicher Theil der Organzersetzungsstoffe hat aber jene »giftigen« Wirkungen auf die Gewebe, in denen sie entstanden, die wir schon in der Physiologie der Zelle im Allgemeinen kennen gelernt haben, und die wir namentlich bei der speciellen Physiologie des Muskel- und Nervengewebes noch im Einzelnen besprechen werden. Es gehören hierher vor Allem die höchsten Oxydationsprodukte der Gewebsstoffe, wie sie den Organismus auf den Wegen der Ausscheidung durch Lungen, Haut und Nieren, theilweise auch durch den Darm verlassen. Diese Oxydationsprodukte hat das Blut aus den Geweben in sich aufzunehmen und, nachdem sie in einzelnen Fällen noch zur Erzeugung gewisser physiologischer Wirkungen, z. B. im Nervengewebe (cf. ermüdende Stoffe), gedient haben, den Ausscheidungsorganen zu übergeben.

Diesen wichtigen Aufgaben genügt das Blut vor Allem als Flüssigkeit, die durch den Mechanismus des Herzens in beständiger Bewegung erhalten wird. Die vielverzweigten Röhrensysteme der Arterien und Venen lösen sich zu einem Netze der feinsten Gefässe auf, deren für Flüssigkeiten unter gewissen physiologischen Bedingungen mehr oder weniger durchgängige Wandungen

einen Stoffverkehr zwischen Gewebsflüssigkeit und Blut eintreten lassen und zwar nach dem durch das lebende Protoplasma in gesetzmässiger Weise umgestalteten und bedingten Vorgang der Osmose und Filtration (S. 130). Dadurch, dass das Blut sich beständig (durch Neuaufnahme von Stoffen aus dem Darm sowohl als aus den Geweben in seiner Concentration und Zusammensetzung verändert; dadurch, dass es gewisse Stoffreihen beständig wieder aus sich entfernt, behält es fortwährend die Fähigkeit, den osmotischen Verkehr mit den Gewebsflüssigkeiten zu unterhalten. Es wird somit das kreisende Blut auch zur Bewegungsursache für den mächtigen intermediären Säftestrom von Zelle zu Zelle, der den Organismus in breitem Bette unablässig durchströmt. Die beständige Veränderung des Blutes durch Stoffaufnahme und Abgabe macht während des Lebens eine endliche Ausgleichung der Zusammensetzung in den beiden gegen einander diffundirenden Flüssigkeiten unmöglich, so dass also hierin niemals ein Ruhezustand erfolgen kann. Die lebenden Organe versagen ohne Blut den Dienst sehr bald vollkommen. Es rechtfertigt diese Betrachtung die hohe Meinung der Alten von dem Blute, das man als das eigentliche Lebensprincip ansah, ja das von Philosophen des griechischen Alterthums (Kritias in Arist. de anim. L. I. c. 2) sogar geradezu als Seele bezeichnet wird. Wenden wir uns zu seiner näheren Betrachtung.

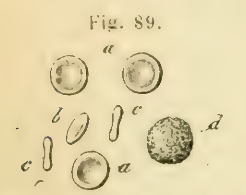
Physikalische Analyse des Blutes.

So lange das Blut in den Blutgefässen sich bewegt, besteht es aus einer farblosen oder schwach hellgelblich gefärbten, etwas klebrigen Flüssigkeit: dem Blutplasma, Plasma sanguinis, von alkalischer Reaktion, — die durch Absterben (Gerinnen) und Muskelaktion abnimmt (Pflüger, Zuntz, J. Ranke), — salinischem Geschmack und eigenthümlichem Geruche und aus einer sehr bedeutenden Anzahl in dieser Flüssigkeit schwimmender zelliger Elemente, welche, zum grössten Theile roth gefärbt, zum kleineren farblos, das Blut an die Gewebe des Körpers anreihen: das Blut ist ein flüssiges Gewebe. Die beiden ebengenannten Zellformen werden als Blutkörperchen: Blutzellen — Corpuscula sanguinis — bezeichnet und als rothe und weisse Blutkörperchen oder Blutzellen unterschieden. Sobald das Blut nicht mehr dem Einfluss der lebenden Gefässwand unterliegt (Brücke), scheidet sich Faserstoff, Fibrin, aus dem Plasma aus und bildet ohne Volumsänderung das vorhin flüssige Blut zu einer festweichen Masse: Cruor, Blutkuchen, um welcher alle Blutkörperchen in sich einschliesst. Nach kurzer Zeit beginnt der Blutkuchen sich zu contrahiren und presst eine helle, gelbliche Flüssigkeit: Blutserum aus sich heraus, welches als Plasma ohne die Faserstoff bildenden Stoffe zu betrachten ist. Die in dem Faserstoffgerinnsel eingeschlossenen rothen Blutkörperchen geben diesem seine gesättigt rothe Farbe. Bei manchen Thieren, z. B. beim Pferde, aber auch hier und da bei dem Menschen besonders während gewisser entzündlicher Allgemeinkrankheiten tritt die Blutgerinnung nicht sofort ein. Die rothen Blutkörperchen, welche specifisch schwerer sind als das Plasma, das im Durchschnitt ein specifisches Gewicht von 1,027 besitzt (das spec. Gew. des Gesammtblutes beträgt im Mittel etwa 1,055; nach Welcker ist das specifische Gewicht der rothen Körperchen

= 1,105), erhalten Zeit, sich zu senken, so dass vor der Gerinnung eine blutkörperchenfreie obere Schicht auf dem Blute sich bildet, welche nur aus Plasma besteht. Gerinnt nun solches Blut, so sitzt dem sonst rothen Blutkuchen eine farblose oder weissgelbliche Schicht von grösserer oder geringerer Dicke auf, welche nur aus Faserstoff, weissen Blutzellen und eingeschlossenem Serum besteht, man hat sie, da sie in Beziehung zu den Entzündungskrankheiten zu stehen schien, als Crusta phlogistica bezeichnet. Die Gerinnung des Faserstoffes geschieht in faserigen, netzförmigen Zügen, welche, wenn der Gerinnungsvorgang ganz ruhig verlief, anfänglich die ganze Flüssigkeitsmenge in eine mehr oder weniger steife Gallerte verwandelt, obwohl die absolute Menge des aus dem Blute sich abscheidenden Faserstoffes stets nur eine sehr geringe ist. Wird das Blut während des Gerinnens mit einem Stäbchen geschlagen, so scheidet sich der Faserstoff an dem Stabe in zähen Fasern ab, die durch chemische Reinigung frei von den Bestandtheilen der Blutkörperchen und weiss erhalten werden können. Die Blutkörperchen bleiben in der Flüssigkeit: defibrinirtes Blut.

Die rothe Farbe des Blutes rührt allein von den rothen Blutkörperchen her. Sie sind beim Menschen mikroskopisch kleine rundliche Gebilde, biconcave Scheibchen (Fig. 89 *a*, *b*, *c*) ohne Zellenkern. Im Blute sind sie in so grosser Zahl vorhanden, dass bei mikroskopischer Betrachtung fast das ganze Blut aus ihnen zu bestehen scheint. Vierordt zählte in 1 Cubikmillimeter Blut kräftiger Männer etwas über 5000000 rothe Blutkörperchen. Bei Frauen soll die Durchschnittszahl im Mittel nur 4500000 betragen. Rechnet man für den Erwachsenen als Gesammt-Blutmenge 5 Kilogramm, so erhalten diese etwa 250000 Millionen Blutkörperchen. Nach Welcker kommen auf je 500—350 (S. 390) rothe im normalen Blute ein weisses Blutkörperchen, nur im Milzvenenblute findet sich eine viel bedeutendere Anzahl weisser Körperchen, dort kommt ein weisses schon etwa auf je 70 rothe (cf. unten). Das Volum eines rothen Blutkörperchens berechnet Welcker zu 0,000000072217 Cubikmillimeter; seine Oberfläche zu 0,000128 Quadratmillimeter. Die Gesammtoberfläche aller Blutkörperchen eines Menschen stellt sich Welcker darnach bei nur 4400cc Blut auf 2816 Quadratmeter, für 5000cc auf 3200 Quadratmeter. Das Gewicht eines Blutkörperchens berechnet sich auf 0,00008 Milligramm.

Fig. 89.



Blutzellen des Menschen; *a a* von oben, *b* halb, *c c* ganz von der Seite gesehen, *d* ein Lymphkörperchen.

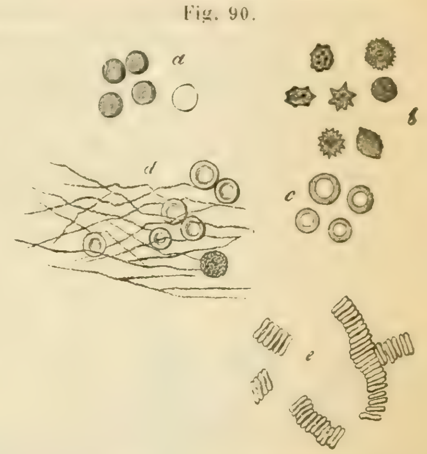
Die specifische Wärme des Blutes bestimmte A. Gamgee gleich der des Wassers im Mittel zu 1,02, während F. Davy 0,812—0,934 gefunden hatte, wenn Wasser = 1 gesetzt ist.

Die Anzahl der rothen Blutkörperchen in einem bestimmten Volumen ist in den verschiedenen Blutprovinzen des Körpers nicht die gleiche. Diese Schwankungen zeigen sich deutlich im venösen Blute, dagegen vermisst man sie im arteriellen. Auch nach der grösseren oder geringeren physiologischen Thätigkeit der Organe finden sich solche Schwankungen in ihrem Venenblut. Das Venenblut der Muskeln wird reicher an Blutkörperchen bei Muskelcontraction, das der Milz während der Verdauung, das der Darmvenen dagegen im Hunger-

zustande (MALASSEZ). Vorgänge, welche sicherlich vor allem auf den constatirten gesteigerten Wasserverlust des Blutes in den verbrauchenden Organen zu beziehen sind.

Die Ränder der rothen Blutscheibchen sind abgerundet, die beiden Flächen concav eingedrückt, so dass sie biconcaven optischen Linsengläsern ähneln. Die centrale Depression stellt sich je nach der Einstellung des Mikroskopes bei der Betrachtung der Körperchen von der Fläche entweder als ein heller oder ein dunkler mittlerer Fleck dar. Von der schmalen Kante gesehen erscheinen die rothen Blutkörperchen als kleine in der Mitte verschmälerte, leicht bisquitförmige Stäbchen. Wenn sie sich im gerinnenden Blute senken, so legen sie sich »geldrollenähnlich« mit der flachen Seite an einander. Wasserzusatz macht sie kugelig aufquellen und endlich zerreissen, bei Verdunstung des Blutes oder durch Salzzusatz schrumpfen sie zackig ein (Fig. 90). Unter dem Mikroskop erscheint ihre Farbe gelbroth, erst wenn sie in grösserer Anzahl vorhanden sind, entsteht die tiefgesättigte Farbe des Blutrothes. Sie machen das Blut auch in dünnen Schichten undurchsichtig. KÖLLIKER und KOLLMANN nehmen eine Hüllmembran der rothen Blutkörperchen an. Nach KOLLMANN umschliesst letztere ein farbloses, aus einem Netzwerk feiner, leicht granulirter »Eiweiss«-fäden bestehendes Stroma, in dessen Zwischenräumen das Hämoglobin eingelagert sei. Nach BRÜCKE's und ROLLETT's vorausgehenden Untersuchungen sind die Blutkörperchen aus einem Stroma (Ökoid) und dem eingelagerten rothen Inhalt (Zooid) zusammengesetzt. Letzterer kann durch Wasser (Borsäure), durch Entladungs- und Inductionsströme zum Austreten aus dem Stroma gebracht werden. Er färbt dann das Serum, und das Blutkörperchenstroma bleibt ungefärbt zurück. Das dann rothgefärbte Serum ist durchsichtig: lackfarben und dabei dunkler. Die Blutscheibchen wirken, so lange sie noch biconcav sind, als kleine Hohlspiegel, die das Licht reflectiren. Fällt diese Reflexion weg, so wird die Blutfarbe dunkler, das Blut durchsichtig. Durch Salzzusatz contrahiren sich die Blutkörperchen, und die Reflexion wird stärker, die Blutfarbe heller (cf. unten venöses Blut). Entgasung des Blutes, Behandeln mit gallensauren Salzen, Aether, kleinen Mengen Alkohol, Chloroform, Schwefelkohlenstoff wirken wie Wasserzusatz. Dasselbe thut Gefrierenlassen des Blutes. Die Gesammtkörperchen und das Stroma für sich besitzen eine auffallende Elasticität, die ihnen erlaubt, bedeutende Formveränderungen zu erleiden und diese wieder auszugleichen. Bei der Beobachtung des Blutkreislaufes unter dem Mikroskop sieht man sie sich mit Leichtigkeit durch Kapillaren hindurch zwängen, deren Lichtung weit geringer ist als der Durchmesser der Blutkörperchen. H. WELCKER fand den Breitedurchmesser der rothen menschlichen Blutkörperchen bei Männern im Mittel zu 0,0077 mm, ihre Dicke zu 0,0019 mm. Blut von weiblichen Personen gab etwas niedrigere Werthe. Die Grössenschwankungen sind sehr bedeutend, das Maximum beträgt: 0,0086, das Minimum 0,0064 und noch weniger. Alle zwischen den beiden Endwerthen liegenden Grössen finden sich in demselben Blute ziemlich gleichmässig vertreten. Bei dem ebengenannten Durchzwängen werden die Körperchen vorübergehend elliptisch, stäbchenförmig. An vorspringenden Gewebskanten, an scharfen Theilungsstellen zweier Kapillargefässe kann man sie hängen bleiben sehen, vom Blutstrom nach beiden Richtungen hin gezogen und gedehnt, so dass sie die Gestalt eines doppelten Zwerchsackes erhalten, indem ihr Mittelstück fast fadenförmig ausgezogen wird, während die beiden Enden keulenförmig anschwellen (cf. Blutbewegung unter dem Mikroskop). Die Grösse der Blutkörperchen hängt c. p. von

Fig. 90.



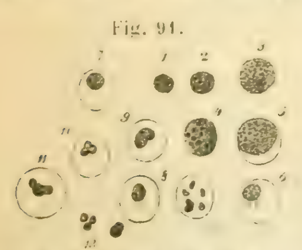
Menschliche Blutzellen *a* unter Wassereinwirkung; *b* in verdunstetem Blute; *c* aufgetrocknet; *d* in geronnenem Blute; *e* rollenartig an einander gelagert.

dem procentischen Wassergehalt des Blutes ab. Je wasserreicher das Blut ist eine desto grössere Menge von Wasser wird in die Blutzellen imbibirt und macht diese bis zu einem gewissen Grade kugelig aufschwellen. Umgekehrt werden die Blutzellen kleiner durch grössere Blutconcentration. Es wird also mit der täglichen Veränderung der Blutmischung durch Nahrungsaufnahme die Gestalt der Körperchen wechseln müssen. Harting fand die Blutzellen nach einer reichlichen Mahlzeit etwas kleiner. Auch nach andauernden Muskelkrämpfen, in Folge deren das Blut concentrirter wird, sah ich die Blutkörperchen im Froschblute an Grösse im Durchschnitt etwas abnehmen. Bei Hydrämie sind die wahren Blutkörperchen vergrössert. Sauerstoffeinwirkung vergrössert, Kohlensäure verkleinert die Blutkörperchen (Manassein).

Historische Bemerkung. — Swammerdam entdeckte im Froschblute 1665 die rothen Blutkörperchen, Malpighi 1661 beim Igel, Leeuwenhoek beim Menschen 1673.

Ausser den farbigen findet das Mikroskop im Blute noch die schon namhaft gemachten weissen Blutzellen. Sie stimmen mit den Lymphzellen oder Lymphkörperchen überein. Es sind wie jene in der Ruhe und im Tode kugelige, amöboide, blasse, hüllenlose Zellen, ihre Grösse beträgt im Mittel 0,005—0,012 mm. Sie sehen feinkörnig aus mit unregelmässig körniger Oberfläche, der Kern scheint nur undeutlich durch. Hier und da finden sich in ihnen zwei oder selbst mehr Kerne, so dass sie an Eiterkörperchen erinnern (Fig. 89 d und 91). Durch Essigsäure werden die Kerne deutlich, indem sich das körnige Protoplasma aufhellt. Neben solchen kleineren körnigen Zellen kommen auch etwas grössere mit sehr durchsichtigem Inhalte vor, meist mit mehreren Kernen. Die farblosen Zellen sind specifisch leichter als die farbigen. Während sich letztere im langsam gerinnenden Blute senken, schwimmen jene oben auf und werden in grosser Anzahl in die Speckhaut mit eingeschlossen. J. Moleschott fand nach zahlreichen Bestimmungen 1 farbloses Körperchen auf 357 farbige (S. 388). Andere geben sehr viel geringere Zahlen an 1 : 1000 — 1 : 1500. A. Schmidt findet, dass sich ihre Zahl nach der Herausnahme des Blutes aus der Ader rasch vermindert. Unter gewissen krankhaften Umständen finden sich diese Körperchen sehr vermehrt im Blute vor. In der Leukämie kann sich auf 7—21 rothe Körperchen schon 1 weisses finden. Letztere zeigen bei Körpertemperatur lebhafte Bewegungen, indem sie Fortsätze aussenden und einziehen. Ranvier beobachtete direkt Theilung farbloser Blutkörperchen (am besten im Blut des Axolotl), welche unter lebhaften amöboiden Bewegungen vor sich ging, wobei sich der Kern passiv zu verhalten schien. Ueber Zwischenstufen zwischen rothen und weissen Zellen cf. unten. Ausserdem finden sich noch kleine gelblich gefärbte Körperchen: Microcythen im frischen Blute, öfters in grosser Anzahl. Bei säugenden Thieren soll das Blut Fettkörnchen enthalten können, ebenso nach Aufnahme fettreicher Nahrung (Hoppe-Seyler).

Fig. 91.



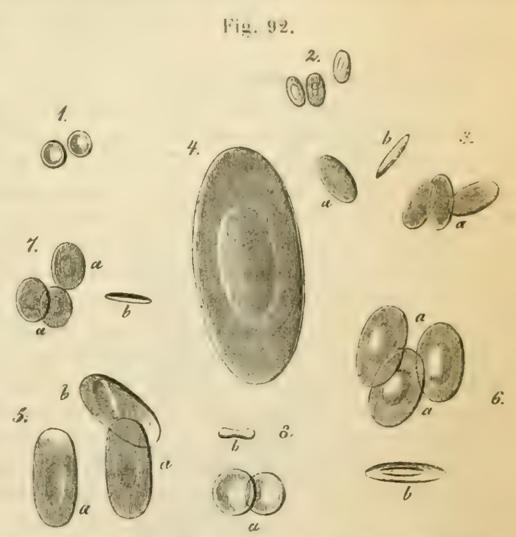
Zellen der Lymphe; bei 1—4 unverändert; bei 5 erscheint Kern und Schale; dasselbe bei 6, 7 und 8; bei 9 beginnt der Kern sich zu spalten, ebenso bei 10 und 11; bei 12 ist er in 6 Stücke zerfallen; bei 13 freie Kernmassen.

Ueberwanderung weisser Blutkörperchen in die Lymphgefässe. — Während man bisher nur die Einwanderung der weissen Blutzellen in das Blutgefässsystem mit dem

Lymphstrom kannte, wurde zuerst von HERING nachgewiesen und in der Folge von COHNHEIM, LOSCH, HELLER, THOMA u. A. bestätigt, dass auch in umgekehrter Richtung aus dem Blutgefässsysteme die weissen Blutkörperchen in die Lymphgefässe zurückwandern. Der Austritt aus den Blutkapillaren findet durch die »Stomata« derselben (ARNOLD u. A. S. 375) statt, und nach Durchsetzung der dazwischen liegenden Gewebe wandern die Körperchen in die Lymphgefässe ebenfalls durch Stomata ein, welche sich namentlich an den kleineren zahlreich nachweisen lassen. In den Geweben nehmen die Zellen ihren Weg durch die Hohlräume des intermediären Saftestroms in der Hornhaut also (cf. diese) in Zickzacklinien, deren Winkel sich einem rechten annähern. Als Bewegungsursache wirkt neben der amöboiden Bewegung der Körperchen der Saftestrom der Gewebe mit.

Zur vergleichenden Anatomie und Physiolgie. — Die rothen Blutzellen der meisten Säugethiere ähneln denen des Menschen, nur in der Grösse zeigen sich geringe Differenzen. Die Blutzellen des Faulthiers, Brachypus didactylus und der Elephanten sind die grössten, letztere mit einem Durchmesser von 0,00926 mm, bei vielen anderen Säugern sind sie kleiner als beim Menschen, z. B. Pferd: 0,00546, Ziege 0,00359, die kleinsten hat Moschus javanicus 0,00207 (GULLIVER). Die Wallfischblutkörperchen sind denen des Menschen im Durchmesser etwa gleich. Die Grössenschwankungen sind bei allen Thieren den im Menschenblute beobachteten etwa analog. Die rothen Blutkörperchen des Lamas, Alpakas und Kameels sind ovale Scheiben von 0,008 mm. Bei den folgenden Wirbelthierklassen wird die ovale Form mit Kern die herrschende. Nur bei niederen Fischen, Cyclostomen, findet sich die kreisrunde Form wieder, das Blut des Amphioxus lanceolatus ist nicht roth und erinnert an das der wirbellosen Thiere. Bei den Vögeln besitzt das ovale Körperchen einen Längendurchmesser von 0,0144 bis 0,0174 mm, der Querdurchmesser beträgt nur etwa die Hälfte. Breiter und länger als bei den Vögeln sind die ovalen Körperchen der beschuppten Amphibien. Bei nackten Amphibien und Plagiostomen (Rochen und Haien) sind sie sehr gross, bei Fröschen sind sie im Mittel 0,02179 mm lang. Bei

Fig. 92.



Farbige Blutzellen; 1. vom Menschen, 2. vom Kameel, 3. der Taube, 4. des Proteus, 5. des Wassersalamanders, 6. des Frosches, 7. von Cobitis, 8. des Ammocoetes. Bei *a* Ansichten von der Fläche; bei *b* die seitlichen (meistens nach WAGNER).

Froschlurchen steigert sich noch der Durchmesser, so dass man sie als feine Pünktchen mit freiem Auge erkennen kann, z. B. bei Proteus anguineus 0,056 mm (Fig. 92. 4.). Unter den Wirbellosen besitzen viele Ringelwürmer (Lumbricus terrestris) rothes Blut, bei den übrigen hat das Blut eine verschiedene Färbung: gelblich, grün, violett, bläulich, oder es ist vollkommen farblos. Der Farbstoff inhärirt hier dem Plasma, nicht den meist ganz ungefärbten Körperchen, die mehr an die Lymphzellen der Wirbelthiere erinnern. Der rothe Farbstoff mancher Blutsorten der Wirbellosen ist Haemoglobin (ROLLET) (S. 392, 402).

Die Menge der Blutkörperchen im Blute verschiedener Thiere ist von VIERORDT gezählt worden. 1 Kubikmillimeter Menschenblut hält nahezu 5 Millionen rothe Blutkörperchen und 14000 farblose, d. h. 350 : 1, was der Mittelzahl MOLESCHOTT's vollkommen entspricht. Das Blut vom Kaninchen von 2700000 bis fast 6 Millionen, vom Hund von 4 Millionen bis 5½ Millionen. Die Zahlen schwanken in sehr weiten Grenzen bei gesunden Thieren derselben

Art. Das Murmelthier hat im Anfang des Winterschlafs 5800000, zu Ende nur noch 2300000. Nach MALASSEZ schwankt der Gehalt des Blutes in 1 Cubikmillimeter an rothen Blutkörperchen zwischen 3,5 und 18 Millionen, die grösste Zahl zeigen die Kameele, Delphine (Phocaena) 3—4 Millionen, Knochenfische 700000—2 Millionen, Knorpelfische 140000—230000.

MALASSEZ nennt den Quotienten, welchen man erhält, wenn man die absolute Anzahl der Blutkörperchen durch das in Gramm ausgedrückte Gewicht des Thieres dividirt: Blutkörperchencapacität des Thieres. So ist z. B. die Blutkörperchencapacität eines Kaninchens von 2450 Gramm mit 919450 Millionen Blutkörperchen 373 Millionen. Diese Capacität schwankt im gleichen Sinn wie der Reichthum einer bestimmten Blutmenge an Körperchen bei den verschiedenen Thieren. Bei den Säugethieren steigt die Blutkörperchencapacität nach der Geburt bis zur 3.—4. Lebenswoche an, um von da an wieder bis auf oder unter den Ausgangspunkt zu sinken, im erwachsenen Thiere ist sie dann wieder höher. Alle schwächenden Einflüsse vermindern die Blutkörperchencapacität.

Aerztliche Bemerkungen. — In einer Anzahl von Krankheiten zeigt sich die Anzahl der rothen Blutkörperchen vermindert, so bei maligner Anämie, bei allen cachectischen Processen. MALASSEZ fand auch bei chronischer Bleivergiftung eine Verminderung der Blutkörperchen in einer gemessenen Blutmenge um die Hälfte. Bei Erysipelas und Eiterung: bei Abscessen, eitriger Pleuritis, nach der Entbindung etc. ist die Zahl der weissen Blutkörperchen vermehrt.

Zur Technik der Blutanalyse. — Blutkörperchenzählung nach VIERORDT. Zuerst wird ein abgemessenes Blutvolum durch Zusatz eines grossen Volums einer Zuckerlösung mit etwas Kochsalz gleichmässig verdünnt. Dann lässt man in eine feine Kapillarröhre, die zur bequemeren Handhabung in ein weiteres Glasröhrchen durch einen Kork befestigt ist, eine winzige Menge der Mischung aufsteigen, deren Länge im Kapillarrohr man unter dem Mikroskop bestimmt. Die Weite des Lumens der Kapillarröhre hat man ebenfalls genau bestimmt. Daraus kennt man das Volum der Mischung und aus der bekannten (gemessenen) Verdünnung (etwa 4000) das Volumen des reinen Blutes, das in der Kapillare enthalten ist. Der Inhalt der Kapillare wird dann auf ein Glasblättchen (Objectträger) entleert, mittelst einer Nadelspitze mit einem Minimum Gummilösung vermischt und zu einem länglichen Streifen ausgezogen, welcher sogleich erstarrt und die Blutkörperchen wie eine Sternkarte enthält. Das Präparat wird mit einem in viele Quadrate getheilten Glasmikrometer bedeckt und dann die Blutkörperchen der einzelnen Quadrate der Reihe nach gezählt. Der Zählungsfehler ist nur etwa 3% bei verschiedenen Proben. Natürlich kann man in derselben Weise auch die mikroskopischen Elemente anderer Säfte, z. B. der Lymphe zählen (NASSE). MALASSEZ hat die Technik der Blutkörperchenzählung dadurch vereinfacht, dass er dieselben direkt in der Kapillarröhre selbst zählt.

Chemie des Blutes (ohne die Blutgase).

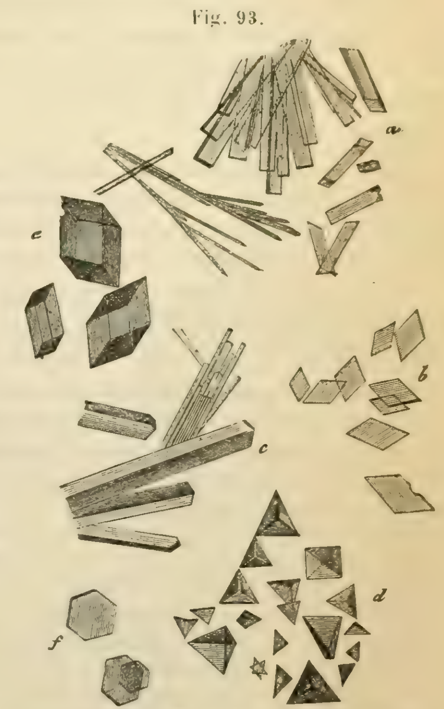
Chemische Bestandtheile der rothen Blutkörperchen. — Unter den Bestandtheilen des Blutes sind die im Menschen- und Wirbelthierblute lediglich den rothen Blutkörperchen zugehörenden Blutfarbstoffe: Haemoglobin und Oxyhaemoglobin, am wichtigsten. Ausserdem wurden aus rothen Blutkörperchen des Menschen nach HOPPE-SEYLER von organischen Stoffen noch gewonnen: eine (wahrscheinlich den Globulinsubstanzen zugehörende) Albuminsubstanz, dann Lecithin und Cholesterin; von anorganischen Stoffen: Kalium, Natrium (?), Chlor, Phosphorsäure, Kohlensäure, in geringer Menge Calcium und Magnesium. Dagegen enthalten die rothen Blutkörperchen keine Seifen und neutralen Fette, wodurch sie sich von fast allen anderen Zellen unterscheiden. Der Natriumgehalt ist nicht immer zu constatiren und ist meist, wo er nachweisbar, sehr gering im Verhältniss zum Gehalt an Kalium. Darin stimmen die Blut-

körperchen überein mit den Zellen und Zellenabkömmlingen der Gewebe. Nach Bunge soll sich aber das Verhältniss der beiden Alkalien bei den Blutkörperchen des Hundes und der Rinder umkehren, sodass hier weit mehr Natrium vorhanden wäre. Die Alkalimetalle scheinen in den Blutkörperchen z. Th. in Verbindung mit Kohlensäure enthalten zu sein. Wie die genannten organischen Bestandtheile der Blutkörperchen in diesen neben einander oder mit einander verbunden existiren, darüber wissen wir noch wenig Sicheres. Hoppe-Seyler glaubt, dass die Blutfarbestoffe sich mit dem Lecithin in einer leicht zerlegbaren Verbindung befinden. Die Blutfarbestoffe würden danach die complicirtesten organischen Bildungen des lebenden Organismus sein, von denen wir wissen, und ein Beispiel dafür abgeben, wie hochzusammengesetzt wir uns die protoplasmatischen Substanzen zu denken haben, von denen wir bis jetzt erst die mehr oder weniger veränderten Zersetzungsprodukte kennen.

Im venösen Blute finden sich beide Blutfarbestoffe: Haemoglobin und Oxyhaemoglobin neben einander: ist das arterielle Blut mit genügenden Sauerstoffmengen gesättigt, so enthält es nur Oxyhaemoglobin.

Das Oxyhaemoglobin ist verhältnissmässig leicht krystallisirbar, das Haemoglobin ist bisher nur als eine amorphe Masse bekannt (Hoppe-Seyler). Das Oxyhaemoglobin ist schön hellroth, das Haemoglobin dunkler, mehr blauroth und dichroitisch, im auffallenden Licht roth, im durchfallenden Licht grün. Der Unterschied in der chemischen Zusammensetzung beider Blutfarbestoffe im Blute desselben Thieres scheint lediglich darin zu bestehen, dass das Oxyhaemoglobin eine bestimmte Menge Sauerstoff lose gebunden enthält, während dieser lose gebundene Sauerstoff dem Haemoglobin fehlt. Concentrirte Lösungen von Haemoglobin verwandeln sich unter den geeigneten Bedingungen bei Luft- resp. Sauerstoffzutritt in eine hellrothe Krystallmasse von Oxyhaemoglobin.

Fig. 93.



Blutkrystalle des Menschen und der Säugethiere. *a* Blutkrystalle aus dem Venenblut des Menschen; *b* aus der Milzvene; *c* Krystalle aus dem Herzblut der Katze; *d* aus der Halsvene des Meerschweinchens; *e* vom Hamster und *f* aus der Jugularis des Eichhörnchens.

Die Krystalle des Oxyhaemoglobins aus dem Blute der verschiedenen Wirbelthiere (Fig. 93) gehören nach Landois alle dem rhombischen System an; nur eine Ausnahme ist bisher bekannt: die Blutfarbestoff-Krystalle des Eichhörnchenblutes sind hexagonale Tafeln. Nach Hoppe-Seyler deutet namentlich diese Verschiedenheit in der Krystallform in Verbindung mit Verschiedenheiten in den Löslichkeitsverhältnissen der verschiedenen Blutfarbestoffkrystalle auf eine

chemische Verschiedenheit der Oxyhaemoglobine im Blute verschiedener Thiere. Es ist jedoch bekannt, dass im Pferdeblut zwei verschiedene »Krystallarten« (Hoppe-Seyler) vorkommen, welche sich leicht eine in die andere umwandeln, sodass es wahrscheinlicher ist, dass sich die Krystallisation in den beiden Krystallsystemen lediglich aus verschiedenen Krystallisationsbedingungen z. B. vielleicht verschiedenen Mengen von Krystallwasser erklärt bei sonst gleicher chemischer Zusammensetzung, analog wie kohlensaurer Kalk einmal als Aragonit rhombische, unter geänderten Krystallisationsbedingungen als Calcit hexagonale Krystalle bildet.

Haemoglobin wird durch verschiedene Agentien — Alkalien, Säuren, Alkohol, Erhitzen auf 100° — bei Abwesenheit von Sauerstoff in einen (bisher nur spectroskopisch bestimmten) rothen, eisenhaltigen Farbstoff: Haemochromogen (Hoppe-Seyler) und einen Eiweisskörper gespalten. Das Haemochromogen geht unter Sauerstoffaufnahme in Haematin über. Das Haemoglobin enthält sonach zwei verschiedene Atomgruppen, von denen bei der wahrscheinlich unter Wasseraufnahme eintretenden Spaltung die eine Eiweissstoff, die andere Haemochromogen resp. Haematin liefert. Beide letztgenannten Stoffe sind sicher in allen Blutarten identisch und es unterliegt keinem Zweifel, dass es die Haemochromogengruppe ist, welche dem Haemoglobin die Fähigkeit ertheilt, Sauerstoff lose zu binden und dadurch in Oxyhaemoglobin überzugehen.

Die spectroskopischen Beobachtungen am kreisenden Blute scheinen zu beweisen, dass die rothen Blutkörperchen wirklich Haemoglobin und Oxyhaemoglobin enthalten, aber, wie oben bemerkt, wahrscheinlich noch in weiterer chemischer Verbindung. Die Fähigkeit, Sauerstoff lose zu binden und diesen leicht z. B. im Vacuum wieder abzugeben, welche dem Haemoglobin wie den lebenden rothen Blutkörperchen zukommt, bedingt die hervorragende Bedeutung dieses Stoffes für die physiologische Chemie der Wirbelthiere.

Genaue quantitative Analysen von frischen rothen Menschenblutkörperchen existiren noch nicht. C. Schmidt fand den Wassergehalt zu 68,163 %. Judell und Hoppe-Seyler haben neben trockenen Blutkörperchen von verschiedenen Thieren auch solche vom Menschen untersucht, wobei ziemlich grosse Schwankungen gefunden wurden:

	trockene Menschenblutkörperchen	
	I.	II.
Oxyhaemoglobin . . .	867.9	943.0
Eiweissstoffe . . .	122.4	51.0
Lecithin	7.2	3.5
Cholesterin . . .	2.5	2.5

Ein rothes Blutkörperchen aus dem Blut eines gesunden Menschen enthält nach Malassez 27.7—31.9 Mikromilligramm Haemoglobin.

Als Beispiele vollständiger Analysen frischer rother Blutkörperchen dienen solche von Schweineblut und Rindsblut von G. Bunge nach Hoppe-Seyler:

	feuchte Blutkörperchen	
	aus Schweineblut	aus Rindsblut
Wasser	632,1	599,9
feste Stoffe	367,9	400,1
Haemoglobin	261,0	280,5
Eiweiss	86,1	107,3
Lecithin, Cholesterin und andere organische Stoffe . .	12,0	7,5
anorganische Stoffe	8,9	4,8
davon K_2O	5,543	0,747
MgO	0,158	0,017
Cl	1,504	1,635
P_2O_5	2,067	0,703
Na_2O	0	2,093

Die elementare Zusammensetzung des Oxyhaemoglobins wurde von C. Schmidt, Hoppe-Seyler und Kossel aus dem Blute verschiedener Thiere untersucht, die Resultate stimmen gut überein. Als Beispiel diene eine Analyse des Haemoglobins der Gans Hoppe-Seyler: C: 54,26; H: 7,10; N: 16,21; O: 20,69; S: 0,54; Fe: 0,43. Ein früher vielfach angegebener Gehalt an Phosphor ist wohl auf »Verunreinigungen« mit Lecithin resp. mit Nuclein (im Gänseblut) zu beziehen.

Die Mengen des Krystallwassers der Oxyhaemoglobine aus dem Blute verschiedener Thiere schwanken nach Hoppe-Seyler zwischen 3—9,4 %.

Zur Trennung des Oxyhaemoglobins von dem Reste der Blutkörperchenbestandtheile zum Zweck der Krystallisation, genügt unter Umständen schon das Auswaschen der Blutkörperchen durch Wasser, dasselbe bewirkt Gefrieren und rasches Aufthauen des Blutes. Durchleiten electrischer Schläge, Behandeln mit gereinigter Galle, mit Aether, vollkommene Entfernung der Blutgase. Die Krystallisation bedarf zu ihrer Einleitung meist niederer Temperaturen.

Das Oxyhaemoglobin bindet wie die Blutkörperchen Sauerstoff lose und gibt ihn im Vacuum wieder ab, doch ist die Abgabe des Sauerstoffs immerhin etwas schwerer als von Seite der Blutkörperchen. Nach der Berechnung Hoppe-Seyler's sollten 100 Gramm Oxyhaemoglobin bei ihrer Dissociation z. B. im Vacuum etc. 167,39cc Sauerstoff von 0° und 0,76 m Druck abgeben. Die gefundenen Maximalwerthe der Sauerstoffabgabe stimmen mit dieser Berechnung gut überein.

Der vom Oxyhaemoglobin abzutrennende, locker gebundene Sauerstoff entwickelt sich nicht als Ozon, sondern als indifferenter Sauerstoff.

Ozon sowie alle oxydirenden Substanzen verwandeln das Oxyhaemoglobin zunächst, ehe die oben erwähnte Spaltung eintritt, in einen dem Oxyhaemoglobin sehr nahe stehenden amorphen Farbstoffkörper, das Methaemoglobin (Hoppe-Seyler). Es enthält weniger Sauerstoff als das Oxyhaemoglobin und mehr als das Haemoglobin, der Sauerstoff ist aber fester gebunden als im Oxyhaemoglobin und kann durch Evacuiren nicht mehr ausgetrieben werden. Die beiden Atomgruppen des Haemoglobins, Eiweissstoff- und Haematingruppe, sind auch im Methaemoglobin vorhanden, aber die Fähigkeit der lockeren Bindung von Sauerstoff ist der letzteren Gruppe verloren gegangen. Es gelingt jedoch leicht, Methaemoglobin in Haemoglobin zurückzuführen, wozu in neutraler oder schwach alkalischer Lösung Einwirkung reducirender Substanzen genügt. Säuren und Alkalien zerlegen Methaemoglobin auch bei Abwesenheit von Sauerstoff in Eiweissstoff und Haematin. Während aus Oxyhaemoglobin durch Fäulniss Methaemoglobin entsteht, geht letzteres bei Fäulniss ohne Sauerstoff in Haemoglobin über.

Das Haemochromogen Hoppe-Seyler's wurde zuerst an seinen optischen Eigenschaften von Stokes erkannt und als reducirtes Haematin beschrieben, da es sich in

schwach alkalischen oder neutralen Lösungen von Haematin unter der Einwirkung reducirender Substanzen bildet. HOPPE-SEYLER fand, dass das Haemochromogen direct aus der Spaltung des Haemoglobins bei Abwesenheit von Sauerstoff entsteht, sonach eine noch innigere Beziehung zum Haemoglobin erkennen lässt als das Haematin, welches erst durch Oxydation aus dem Haemochromogen hervorgeht.

Das Haematin hat die elementare Zusammensetzung $C_{68}H_{70}N_8Fe_2O_{10}$ mit 8,8% Eisen und ebensoviel Stickstoff (HOPPE-SEYLER). Das trockene Haematin ist von brauner Farbe, in dünnsten Schichten durchsichtig, im auffallenden Lichte glänzend blauschwarz. Es lässt sich sehr rein aus seiner Salzsäureverbindung gewinnen, welche lange als TEICHMANN's Krystalle oder Haemin bekannt ist und bei Extraction getrockneten und gepulverten Blutes mit Eisessig bei Anwesenheit von Chlornatrium entsteht: $C_{68}H_{70}N_8Fe_2O_{10}$, 2 HCl. (cf. unten Blutnachweis). Das Haematin ist sehr widerstandskräftig gegen chemische Agentien, auch Fäulniss greift es nicht oder wenigstens nur sehr schwer an. Unter gewissen Einwirkungen bildet sich aber aus ihm das

Haematoporphyrin (HOPPE-SEYLER), ein neuer eisenfreier Farbstoff, unter Abtrennung von Eisenoxydulsalz. Es entsteht nach der primären Spaltung des Haemoglobins durch verdünnte Säuren bei Abwesenheit von Sauerstoff aus dem Haemochromogen. Entdeckt wurde der betreffende Farbstoff von MULDER, welcher durch die Einwirkung von concentrirter Schwefelsäure auf Haematin ein eisenfreies Haematin darstellte. HOPPE-SEYLER findet, dass letzteres aus zwei eisenfreien Farbstoffen, dem bis jetzt noch wenig bekannten Haematolin von der Formel $C_{68}H_{78}N_8O_7$ und dem Haematoporphyrin $C_{68}H_{74}N_8O_{12}$ gemischt sei. Letzteres ist trocken, glänzend, dunkelviolett in dünnsten Schichten mit grünlicher Farbe durchsichtig. Durch Reduction mit Zinn und Salzsäure in alkoholischer Lösung geht es in einen optisch von Hydrobilirubin nicht zu unterscheidenden Stoff über (HOPPE-SEYLER).

Höchst wahrscheinlich bilden sich die Gallefarbstoffe in der Leber aus der Haemochromogengruppe des Haemoglobulin. HOPPE-SEYLER führt als einen der Gründe dafür an das ausnahmslose Vorkommen von wahrer Galle mit Gallefarbstoffen und Gallensäuren bei Thieren mit rothen Blutkörperchen. Bekanntlich kommt aber gelöstes Haemoglobin auch im Blute wirbelloser Thiere vor. Besser gründet sich diese Annahme auf die nahe Uebereinstimmung der Gallefarbstoffe mit dem Haematin und die Bildung von Gallefarbstoff (Haematoidinkrystalle) in Blutextravasaten etc.

Die Bildung des Haemoglobins und die chemische Herkunft der Haemochromogengruppe ist noch ein vollkommenes Räthsel. Jedenfalls ist erstere an kein bestimmtes Organ geknüpft; abgesehen von den unten zu erwähnenden Erfahrungen über die Bildung der rothen Blutkörperchen zeigt das auch das Vorkommen eines mit dem Haemoglobin identischen Farbstoffes in den Muskeln der Wirbelthiere, sowie das Vorkommen gelösten Haemoglobins in dem Blute wirbelloser Thiere, des Regenwurms.

Das optische Verhalten der Blutfarbstoffe cf. bei Besprechung der Blutgase.

Die chemischen Bestandtheile der weissen Blutkörperchen sind jene, welche allen jungen entwickelungsfähigen Zellen eigen sind (cf. Chemie der animalen Zelle, Cap. II). Nach A. SCHMIDT geht ein grosser Theil der weissen Blutkörperchen nach der Herausnahme des Blutes aus der lebenden Ader rasch zu Grunde, wobei ein Ferment entstehen soll, welches sich an der Blutgerinnung betheiligt. SALOMON hat im arteriellen Blute von Hunden, im Aderlassblute vom Menschen Glycogen nachgewiesen, welches wohl den weissen Blutzellen zugehört.

Die Angaben, dass Blut kein Glycogen oder Dextrin enthalte (O. NASSE), beziehen sich wahrscheinlich darauf, das die sich lösenden rothen Blutkörperchen ein diastatisches Ferment entwickeln (TIEGEL), welches die genannten Stoffe rasch in Zucker umwandelt.

Die Abweichungen in den chemischen Bestandtheilen des leukämischen Blutes (cf. unten) von normalem Menschenblut beruhen z. Thl. auf dem gesteigerten Gehalt des letzteren an weissen Blutzellen; ob wir es aber hierbei mit normalen Verhältnissen der letzteren zu thun haben, ist mehr als zweifelhaft.

Das Plasma des Blutes. — Die Flüssigkeit des Blutes, das Blutplasma, besteht zu etwas mehr als 90% aus Wasser, in welchem zahlreiche organische und unorganische Stoffe gelöst sind; letztere werden als Blutsalze bezeichnet, unter ersteren beanspruchen quantitativ verschiedene Eiweissmodificationen die hervorragendste Bedeutung. Ein procentisch geringer Antheil der letzteren scheidet sich bei dem (S. 387) beschriebenen Vorgang der Blutgerinnung als Fibrin aus. Quirlt oder schlägt man das frisch aus der Ader gelassene Blut, so bildet sich, wie oben gesagt, kein zusammenhängender Blutkuchen, sondern das sich aus normalem Blute hierbei vollkommen abscheidende Fibrin hängt sich der Hauptmasse nach an das Schlagstäbchen an und seine Gesammtmenge kann durch Coliren durch ein engmaschiges Gewebe von dem nun fibrinfreien = defibrinirten Blute abgetrennt, chemisch gereinigt und quantitativ bestimmt werden. Aus gesundem Menschenblut gewinnt man auf diese Weise zwischen 0.1—0.4% trockenes Fibrin, dessen procentische Zusammensetzung die eines wahren Eiweisskörpers ist: C: 52.32; H: 7.07; O: 23.0; N: 16.23; S: 1.35 (KISTIAKOWSKY), und welches durch chemische Einwirkung (z. B. Fäulniss) zunächst in eine Globulinsubstanz von den Eigenschaften des Serumglobulins übergeführt werden kann, welcher man bisher die Eigenschaften des Fibrins (resp. der fibrinogenen Substanz) nicht mehr zurückzugeben vermochte.

Von dem Serum des Blutes unterscheidet sich das Blutplasma sonach durch seinen Gehalt an gelöster fibrinbildender Substanz oder Fibrinogen, einem Stoffe, von welchem trotz zahlreicher Untersuchungen, welche derselbe in neuerer Zeit durch viele Forscher (R. VIRCHOW, ALEX. SCHMIDT, OLAF HAMMARSTEN u. v. A.) erfahren hat, kaum mehr feststeht, als dass er ein zu den Globulinsubstanzen (HOPPE-SEYLER) zu rechnender Eiweissstoff ist. Von dem ihm sonst sehr nah verwandten Serumglobulin unterscheidet es sich dadurch, dass es, wie das Myosin, in neutraler Lösung durch Erwärmen schon bei 55—56° (HAMMARSTEN, FREDERICQ) flockig zu einem coagulirten Eiweissstoff gerinnt, während bei Serumglobulin die Coagulation erst bei 75° eintritt. DENIS und A. SCHMIDT haben fibrinogene Substanz aus dem Blute bis jetzt mit mangelhaftem Erfolg abzuscheiden versucht. Aus den Experimenten GAUTIER's, welche ergeben, dass die Fibrinbildung aus fibrinogener Substanz nur bei Gegenwart von Wasser erfolgt, schliesst HOPPE-SEYLER, dass Fibrin aus fibrinogener Substanz durch Hydratbildung entstehen möge. Der Vorgang lässt sich sonach (cf. oben S. 70) an die Fermentwirkungen anschliessen. ALEX. SCHMIDT, O. HAMMARSTEN u. A. nehmen in diesem Sinn die Bildung eines im lebenden Blute nicht vorhandenen »Fibrinferments« an, dessen Quelle nach Ersterem die weissen Blutkörperchen seien, welche sofort nach ihrer Entfernung aus dem lebenden Körper zum grossen Theile, unter Bildung dieses Ferments zerfallen sollen. Anfänglich hatte AL. SCHMIDT gelehrt, dass die Fibrinbildung unter dem Zusammenwirken zweier Globulinsubstanzen, Fibringeneratoren, welche er als fibrinogene und fibrinoplastische Substanz

unterschied, vor sich gehe, wozu er nun noch als dritten Factor das Fibrinferment postulirt. Die fibrinoplastische Substanz stamme ebenfalls von den farblosen Blutkörperchen.

Trotz der vielen darauf verwandten Mühe ist die Frage noch keineswegs spruchreif. HOPPE-SEYLER fasst die bis jetzt feststehenden Resultate dahin zusammen: dass das Fibrin sich nur in Flüssigkeiten bilden kann, welche Fibrinogen enthalten: dass Lösungen des Fibrinogens für sich kein Fibrin geben, zur Bildung desselben also noch eine besondere Einwirkung und zwar eines oder mehrerer chemischer Körper (d. h. fibrinoplastische Substanz und Fibrinferment AL. SCHMIDT) erforderlich ist: dass dieser oder diese einwirkenden Körper von den farblosen Blutkörperchen geliefert werden.

Das Fibrin scheidet sich aus dem Plasma aus. Auch das Plasma, das man durch rasches Sinken der Blutkörperchen für sich ohne Blutkörperchen, z. B. aus Pferdeblut, erhalten kann, gerinnt. Aus Froschblut, dessen grosse Blutkörperchen nach Verdünnung mit Zuckerwasser abfiltrirt werden können, kann man (J. MÜLLER) ebenfalls gerinnendes Plasma erhalten. Doch scheint die Auflösung der Blutkörperchen immerhin mit zur Gerinnung beizutragen. Nach vorsichtigem Einspritzen von Galle in das Blut lebender Thiere tritt nach meinen von NAUNYN auch für arterielles Blut bestätigten Experimenten unter Umständen Blutgerinnung im lebenden Thiere ein, was NAUNYN zuerst nach Einspritzen von gefrorenem und wieder aufgethautem Blute beobachtet hatte, ebenso nach Aethereinspritzung, wodurch auch die Blutkörperchen gelöst werden. Beide Einflüsse zerstören, wie wir oben sahen, die rothen Blutkörperchen. A. HEYNSIUS lehrt, dass das Fibrin zum grossen Theil aus den Blutkörperchen stammt, bei Pferdeblut bis zu 90 %.

Es ist bisher noch immer räthselhaft, (warum die Fibrinausscheidung im lebenden, kreisenden Blute nicht stattfindet, während sie auch in den lebenden Adern eintritt, wenn das in diesen enthaltene Blut durch Unterbindung des Gefässes stockt oder durch Reibung an Wandrauhigkeiten Verzögerung in seiner Bewegung erfährt. Wir haben es hier mit einem räthselhaften Einfluss der lebenden Gefässwand zu thun (BRÜCKE), der bisher jedoch einer genaueren Analyse getrotzt hat. Froschblut, mit einem lebenden pulsirenden Herzen über Quecksilber abgesperrt, gerinnt nicht. Bei dem Absterben der Gefässwand und bei der Blutgewinnung durch Aderlass tritt das Blut ganz, bei der Stockung der Bewegung innerhalb der lebenden Gefässe wenigstens der centrale Inhalt der Gefässe aus dieser Beeinflussung der Gefässwand heraus. Verzögert wird die Fibrinausscheidung durch gewisse Zusätze zum Blut, wie Kohlensäure und andere schwache Säuren, Alkalien, alkalische Salze. Durch Zusatz von 1 Theil einer 25 % Lösung von schwefelsaurer Magnesia und von Säuren bis zu merklich saurer Reaction wird die Gerinnung ganz verhindert (A. SCHMIDT). Der Zutritt der Luft beschleunigt die Gerinnung, ebenso eine Erwärmung bis auf 55° und Schlagen oder Quirlen. Ein gewisser Salzgehalt der Flüssigkeit ist zur Ausfällung des Fibrins erforderlich, dazu genügt ein 1 % Kochsalzgehalt. In salzfreien oder zu stark verdünnten Lösungen, welche alle drei A. SCHMIDT-schen Fibringeneratoren enthalten, tritt die Faserstoffgerinnung nicht oder langsam und nur theilweise ein.

VIRCHOW fand, dass das Blut in den Kapillargefässen der verschie-

denen Organe nicht gerinnt und, auch nach dem Tode herausgelassen, kein Fibrin ausscheidet.

Ausser im Blutplasma findet sich Fibrinogen in der Lymphe, im Chylus, in der Pleura- und Pericardium-Flüssigkeit, ausserdem in Hydrocele- und in entzündlichen Exsudatflüssigkeiten verschiedener Art.

Die grundlegenden Experimente A. Schmidt's über Fibrinbildung wurden namentlich an Hydroceleflüssigkeit angestellt. Obwohl dieselbe Fibrinogen enthält, so tritt doch spontan keine Gerinnung resp. Fibrinausscheidung ein, eine solche erfolgt aber in kurzer Zeit, wenn man einige Tropfen defibrinirten Blutes zusetzt. Hierbei kommt nicht nur das Fibrinferment, aus zerstörten weissen Blutzellen stammend, sondern auch die fibrinoplastische Substanz in irgend welcher Weise zur Wirkung. Wenn man anfänglich geneigt sein konnte, die Wirkung der fibrinoplastischen Substanz auf das Fibrinogen als eine chemische Verbindung der beiden Globulinsubstanzen zu Fibrin aufzufassen, so musste man diesen Gedanken fallen lassen, als Al. Schmidt gefunden hatte, dass bei der Fibrinbildung kein bestimmtes Aequivalent-Verhältniss zwischen beiden Substanzen obwalte. Die Mitwirkung der fibrinoplastischen Substanz bei der Fibrinbildung, von Hammarsten anfänglich ganz geleugnet, ist jedenfalls bis jetzt noch nicht definirt. Hoppe-Seyler hält es, wie gesagt, für sehr unwahrscheinlich, dass das Fibrinogen bei der Fibrinbildung mit einem anderen Körper sich verbindet.

Die oben erwähnte Meinung, dass die rothen Blutkörperchen in irgend welcher Beziehung zur Fibrinbildung stehen, ist zuerst von Prévost und Dumas, neuerdings wieder von Heynsius u. A. vertreten worden. Al. Schmidt meint, dass das Fibrinogen in den rothen Blutkörperchen entstehe. Hoppe-Seyler beobachtete übereinstimmend mit Heynsius und Semmer, dass bei der Lösung der rothen Blutkörperchen eine zarte gallertige Gerinnung entsteht, welche ihm mit der Bildung von Fibrin übereinzustimmen schien. Heynsius lehrt, dass das meiste Fibrin aus den rothen Blutkörperchen stamme, bei Pferdeblut bis zu 90%. Landois unterscheidet diesen Angaben entsprechend zwischen Plasmafibrin und Stromafibrin, welches letztere sich bei der Lösung der rothen Blutkörperchen bilden solle. Da das Serum des Blutes verschiedener Thierarten auflösend auf die Blutkörperchen einer anderen Species wirke, so entsteht bei Bluttransfusionen mit Blut fremder Species oder, wenn das eingespritzte Blut nicht mehr lebensfrisch ist, auch bei derselben Species leicht Gerinnung, namentlich in den Venen, deren Blutkörperchen unter der Einwirkung der Kohlensäure ohnedies leichter zerstörbar seien.

Andere Erklärungen der Fibringerinnung übergehen wir, so die von Deutschmann, E. Mathieu und Urbain u. A.

In jenen fieberhaften Allgemeinkrankheiten: Pneumonie, Erysipelas, Rheumatismus acutus, sowie bei Hydraemie, bei welchen das Blut die Bildung einer Crusta phlogistica (cf. S. 388) zeigt, ist das Fibrin quantitativ etwas vermehrt bis zu 0,5—1%.

In manchen Fällen findet eine mehrfache Fibringerinnung in demselben Blute statt (R. Virchow). Entfernt man das Fibrin nach der ersten Gerinnung, so folgt hier und da eine zweite und dritte Fibrinausscheidung. Hier scheint sich (aus der Lösung der rothen Blutkörperchen?) also Fibrinogen neu zu bilden, da die beiden anderen A. Schmidt'schen Fibringeneratoren im Blute stets im Ueberschuss enthalten sind.

Das Blutserum. — Mit Ausnahme des Fibrinogens enthält das Blutserum die Stoffe des Blutplasmas. Doch haben wir es bei dem Serum schon mit einer mehr oder weniger veränderten Substanz zu thun. Durch die Lösung der weissen Blutkörperchen nach Ausfliessen des Blutes treten Stoffe in das Serum, welche dem Plasma z. Thl. fremd sind, z. B. Fibrinferment, dann wechseln die anorganischen Salze theilweise ihren Platz, indem sich unter der Einwirkung der Kohlensäure ein gesteigerter Diffusionsverkehr zwischen Blutkörperchen und Blutflüssigkeit einstellt (Nasse). Kochsalz geht in die Blutkörperchen, dafür Kalisalze

und andere feste Stoffe in das Serum. Die alkalische Reaction des Blutes nimmt wahrscheinlich durch Bildung einer Säure bei dem Absterben ab (ZUNTZ).

Konstant finden sich folgende Stoffe im normalen Serum: die Hauptmenge der festen Stoffe bilden zwei Eiweisskörper, Serumalbumin und Serumglobulin (WEYL), derselbe Eiweissstoff, welchen PANUM als Serumcasein beschrieben, AL. SCHMIDT als fibrinoplastische Substanz angesprochen hat), ausserdem findet sich Cholesterin, Lecithin, Traubenzucker, Harnstoff, geringe Mengen eines gelben Farbstoffs, neutrale Fette, Seifen. Die anorganischen Salze des Serums sind vorwiegend Natriumverbindungen mit Chlor, Schwefelsäure, Kohlensäure, Phosphorsäure; die letztere Säure findet sich auch in Verbindung mit Calcium und Magnesium, Kaliumverbindungen in grösseren oder geringeren Mengen wurden häufig nachgewiesen, von organischen Stoffen: Kreatin, Sarkin, Harnsäure (bei Gicht). Die Fette und Seifen sind besonders in der Verdauungsperiode reichlich.

HAMMARSTEN gibt für 100cc Blutserum des Menschen folgenden Gehalt an den beiden Eiweissstoffen an: 9,2075 feste Stoffe; davon Gesammteiweiss 7,620; davon Serumglobulin 3,103; Serumalbumin 4,516. Aeltere Angaben über die Menge der im Blutserum enthaltenen Globulinsubstanz geben um das 10fache geringere Werthe; HEYNSIUS fand für Menschenblutserum 0,38%.

CL. BERNARD hat nachgewiesen, dass das Blut unabhängig von der Nahrung Zucker enthält; bei Fleischkost fand er im Hundeblut von 0,067—0,139%, Werthe, welche mit den von v. MERING gewonnenen ziemlich übereinstimmen: 0,145—0,235%. Hunger zeigte keine Einwirkung. Der Zucker ist nach EWALD im menschlichen Blute rechtsdrehend. Nach ABELES enthält das normale arterielle Blut durchschnittlich 0,049%, das venöse im rechten Herzen (von demselben Thiere untersucht) 0,054% Zucker. Den Zuckergehalt des venösen Blutes aus dem rechten Herzen, der Vena cava ascendens und der Vena portarum desselben Thieres fand er gleich, im Mittel 0,053—0,054%. Der normale Zuckergehalt des Blutes lässt sich sonach nicht allein aus der Leber ableiten, er stammt grossentheils auch aus den Muskeln und anderen Organen; nach Ausschaltung der Leber fand A. den Zuckergehalt des Blutes im rechten Herzen kaum bemerkbar vermindert. In Folge wachsender Blutverluste steigert sich der Zuckergehalt des Blutes (CL. BERNARD, v. MERING) bis über 0,3% des Carotisblutserums. Bei Diabetes mellitus steigt der Zuckergehalt des Serums auf 0,9% (HOPPE-SEYLER).

Den Harnstoffgehalt des normalen Menschenblutes gab PICARD zu ungefähr 0,016% an. Auch im Blute verschiedener Thiere ist es von POISEUILLE und GOBLEY zu etwa 0,02% gefunden worden. Am Hundeblut wurden viele Bestimmungen ausgeführt. WURTZ fand nach einer vorwurfsfreien Methode 0,0192%, nach den Angaben verschiedener Schüler HOPPE-SEYLER's schwankt nach gleicher Bestimmungsmethode die Menge von 0,011—0,085%. Bei Nierenleiden: Uraemie steigt der Harnstoffgehalt des Blutes wie nach Nierenexstirpation (PRÉVOST, DUMAS u. A.).

Harnsäure fanden SCHERER und STRICKER im Rinderblut zu 0,0031%, im Menschenblut wurde sie bei Gicht in etwas grösserer Quantität nachgewiesen (cf. unten).

Kreatin bestimmte C. VOIT im Rinderblut zu 0,055—0,108%, im Hundeblut zu 0,03—0,07%.

Die Mengen des Cholesterin und Lecithin sind sehr gering und wechselnd, nie mehr als wenige Promille.

Neutrale Fette und die Seifen der Palmitin-, Stearin- und Oelsäure finden sich im Blut hungernder Thiere in geringer, während der Verdauung in grösserer Menge. Bei Hunden bestimmte Röhrig die Fettmenge des Blutes nach mehrtägigem Fasten zu 0,5—0,7%, nach Fettfütterung bis zu 1,25%. Das Blutserum kann dann trübe wie verdünnte Milch erscheinen.

Fleischmilchsäure fand Salomon in Spuren im menschlichen Aderlassblut, Spiro in grösserer Menge im Thierblut nach langdauernder electrischer Muskelreizung. Meissner gibt Bernsteinsäure als Bestandtheil des Blutes von Pferd, Rind, Ziege an. Das mehrfach angegebene Vorkommen von Hippursäure (Verdeil u. A.) konnte nicht sicher bestätigt werden. Salomon fand in einigen Fällen Spuren von Hippoxanthin im frischen Aderlassblut.

Ein Beispiel einer quantitativen Analyse der löslichen anorganischen Salze des Menschenblutserums gibt folgende Bestimmung von Hoppe-Seyler:

$NaCl$	4,92	pro mille
Na_2SO_4	0,44	- -
Na_2CO_3	0,21	- -
Na_2HPO_4	0,15	- -
$Ca_3(PO_4)_2$ / $Mg_3(PO_4)_2$	0,73	- -

Das Verhältniss von Kali zu Natron fand C. Schmidt im Menschenblutserum wie 0,387 : 4,290 und 0,401 : 4,294 pro mille. Bunge im Schweineblutserum wie 0,273 : 4,272 pro mille; im Pferdeblutserum 0,27 : 4,43; im Rindsblutserum 0,254 : 4,351. Das Natrium wiegt in der Serumasche stets über das Kalium vor, das Verhalten ist in dieser Hinsicht umgekehrt wie in der Asche der Blutkörperchen.

Das Gesammtblut. — Die Bestimmung des specifischen Gewichts des Blutes erlaubt, da nach S. 387 das specifische Gewicht der rothen Blutkörperchen von dem des Blutserums resp. Plasma wesentlich verschieden ist, einen Rückschluss auf den relativen Gehalt des Blutes an rothen Blutkörperchen und Plasma. Nach Nasse's Bestimmungen schwankt das specifische Gewicht des Menschenbluts aber nur zwischen 1,050—1,059, sehr ähnliche Werthe fanden Becquerel, Rodier und C. Schmidt.

Da nach der Angabe Hoppe-Seyler's das Fibrin lediglich vom Plasma geliefert wird und seine Ausscheidungsquantität in der gleichen Blutart eine fixe Grösse ist, so kann aus einer Bestimmung des Fibringehalts im Blutkörperchen-freien Plasma und einer Fibrinbestimmung im Gesammtblute das in letzterem enthaltene Gewicht an Plasma und damit auch an rothen Blutkörperchen bestimmt werden. Die Methode ist aber bis jetzt nur für das relativ langsam gerinnende und vor der Gerinnung eine Quantität Plasma abscheidende Pferdeblut verwendet worden. Eine andere auch von Hoppe-Seyler angegebene Methode der Trennung der (organischen Stoffe der) rothen Blutkörperchen vom Plasma resp. Serum scheint weniger theoretisch unanfechtbare Werthe zu liefern; dass auch die erstere Bestimmungsmethode neuerdings nicht unangefochten blieb, ergibt sich aus der obigen Darstellung der Angaben über Abscheidung von Fibrin aus den rothen Blutkörperchen. Auch auf den lediglich den rothen

Blutkörperchen zugehörenden Eisen- oder Kaliumgehalt (?) hat man entsprechende Berechnungen gegründet. Als Beispiel geben wir eine Analyse von HOPPE-SEYLER und SACHARJIN nach der erstgenannten Methode ausgeführt: in 1000 Gewichtstheilen Pferdeblut wurden gefunden:

	Blutkörperchen:	Plasma
Gesammtgewicht	327,78	672,22
darin feste Stoffe	128,19 = 39,1%	67,90 = 10,1%
- Wasser	199,59 = 60,9%	604,93 = 89,9%.

Im Mittel aus 6 Analysen fanden sie 344.18 Blutkörperchen auf 655.82 Plasma.

Aus dem Eisengehalt des Blutes sowie aus colorimetrischen und spectroscopischen Versuchen haben verschiedene Forscher den Haemoglobingehalt des Gesammtblutes zu bestimmen versucht. Nach BECQUEREL und RODIER's Eisenbestimmungen berechnet denselben PREYER im Blute gesunder Männer zu 12—15%, im Blute gesunder Weiber zu 12—14%, im Blute von Schwangeren soll der Haemoglobingehalt etwas geringer sein (8.81 — 11,67 %). Spectroscopisch bestimmte H. QUINCKE den Haemoglobingehalt im Blute von Frauen zweimal zu 14%.

Als Beispiel einer quantitativen Zusammensetzung der Asche von Menschenblut diene eine Analyse von HENNEBERG. Das Eisen stammt aus den Blutkörperchen, die Phosphorsäure z. Thl. aus Lecithin, die Schwefelsäure z. Thl. aus dem Schwefel der Albuminate. Kali 11.39%; Natron 36.24; Kalk 1,88; Magnesia 1.28; Eisenoxyd 8.80; Chlor 34.23; Schwefelsäure SO_3 1.66; Phosphorsäure (P_2O_5) 11.26; Kohlensäure 0,96.

SUBBOTIN fand, dass die relative Menge des Haemoglobins, auf das Körpergewicht berechnet, bei Hund und Kaninchen eine ziemlich konstante Grösse ist auch bei verschiedener Gesammtblutmenge und Ernährungsweise. Beim Hund im Mittel auf 100 Gramm Korpergewicht 0.764 Haemoglobin im Mittel; bei einem wohlgenährten und einem hungernden Kaninchen 0.346 und 0.348 Gramm (cf. Blutmenge).

Zur Entwickelungsgeschichte der chemischen Blutbestandtheile. — Bis zum 12.—14. Tag sah BOLL beim Hühnerembryo die Gerinnungsfähigkeit des Blutes fehlen. Haemoglobin konnte er schon am 3. Tage spektroskopisch nachweisen. Das Herzblut des lebenden Meerschweinchenfötus enthält schon vor der ersten Athmung Oxyhaemoglobin (PREYER und SCHMIDT).

Zur vergleichenden Physiologie des Blutes (cf. unten S. 410). — Die Kerne der kernhaltigen rothen Blutkörperchen enthalten Nuclein, einen Stoff, welcher den kernlosen Körperchen zu fehlen scheint (PLOSZ). NASSE und Andere haben über die Zusammensetzung des Blutes verschiedener Thiere zahlreiche Untersuchungen angestellt, die jetzt bei verschiedenen Ernährungsweisen wiederholt werden müssen. Das Blut des Menschen und der Omnivoren soll am meisten Blutkörperchen und daher am meisten Eisen und lösliche Phosphate enthalten, ebenso am meisten feste Stoffe und Fibrin; die Menge des freien (schwach gebundenen) Alkalis im Menschenblut soll eine mittlere Stellung zwischen der Menge in dem Blut der Herbivoren und Carnivoren, die am wenigsten davon besitzen, einhalten. Das Blut der Carnivoren enthält vielleicht etwas weniger (?) Blutkörperchen (cf. S. 391), weniger Fibrin und mehr Fett. Das Blut der Herbivoren ist am ärmsten an Blutkörperchen unter allen Saugethieren. Das Blut der Vögel enthält ebenso viel Blutkörperchen wie das des Menschen, es ist reicher an Fibrin und Fett und armer an Albumin. Das Blut der kaltblutigen Wirbelthiere enthält mehr Wasser und weniger Blutkörperchen als das Blut aller anderen Wirbelthiere.

Der Haemoglobingehalt des Säugethierblutes, aus dem Eisengehalt berechnet PREYER oder colorimetrisch bestimmt, ergab folgende Werthe: für Rindsblut 11,43—13,02 % PÉLOUZE; Kalbsblut 84,2—10,42 % PREYER, SUBBOTIN; Schafblut 11,2 % NASSE; Pferdeblut 11,62 % NASSE; Schweineblut 12,5—14,17 % PÉLOUZE; Kaninchenblut 7,10—9,50 %; Hundeblut 9,37—14,5 % SUBBOTIN, HOPPE-SEYLER; Blut saugender Hunde 3,31—3,53 SUBBOTIN; Rattenblut 8,85 % PREYER. Nach den zahlreichen vergleichenden Bestimmungen KORNILOFF's verhält sich der Haemoglobingehalt (VIERORDT's Extinctionscoefficient

bei Fischen . . .	0,3564
- Amphibien . .	0,3889
- Reptilien . .	0,4328
- Vögeln . . .	0,7814
- Säugethieren .	0,9366

Für das Blut mancher Wirbellosen scheint das Kupfer neben dem Eisen eine hervorragende Rolle zu spielen. Das Blut des Helix pomatia wird beim Stehen an der Luft himmelblau, Ammoniak hebt die Farbe auf, Salpetersäure soll sie zurückbringen, es gibt bei 6,12 % Asche 0,033 Kupferoxyd, es enthält daneben aber auch Eisen (GENTH, v. GORUP-BESANEZ). Auch die Blutasche von Cephalopoden fanden HARLESS und BIBRA kupferhaltig, ebenso GENTH die von Limulus Cyclops, in der sich aber auch Eisen findet. Das Blut von Helix pomatia soll durch Zuleiten von Sauerstoff blau, durch Kohlensäure farblos werden, auch das Blut einiger Cephalopoden (Loligo und Eledone) soll einen »albuminoiden« kupferhaltigen Körper enthalten (L. FRÉDÉRICQ), welcher durch Sauerstoff blau gefärbt wird; Näheres über das Haemocyanin S. 410. Auch im Blute von Sepien und Octopus konnten H. MÜLLER und SCHLOSSBERGER Kupfer nachweisen. In dem Blute folgender niederen Thiere ist bisher Kupfer neben Eisen, das in dem Blute dieser Thiere nie fehlt und zuweilen sogar in überwiegender Menge vorhanden ist, nachgewiesen: Cancer vulgaris, C. pagurus, Eledone, Acanthias, Sepia und Octopus, Helix pomatia, Unio pictorum, Limulus Cyclops (v. GORUP-BESANEZ).

Gase des Blutes.

Das Gesammtblut enthält Gase: Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure. Auf dem Wechselverkehr der Gase der Atmosphäre mit den Gasen und den sonstigen Stoffen der Gewebe, welcher durch das Blut vermittelt wird, beruht die Lebensmöglichkeit des höheren animalen Organismus.

Die Aufnahme des Sauerstoffs in das Blut ist zum grössten Theile unabhängig von den physikalischen Gesetzen der Gasdiffusion und erfolgt unter der Einwirkung einer Anziehung der Blutkörperchen und zwar ihres Farbstoffs, des Haemoglobins, gegen dieses wichtigste Lebensbedürfniss. Die Sauerstoffmenge im Blute ist also von der Haemoglobinmenge desselben abhängig, das Haemoglobin ist bei normaler Athmung in arteriellem Blute nahezu (etwa zu $^9/_{10}$) mit Sauerstoff gesättigt. Das Blutserum besitzt keine stärkere Anziehung zu Sauerstoff, als einer Flüssigkeit von seinem Salzgehalte nach den allgemeinen Gesetzen der Gasdiffusion zukommt (L. MEYER), nach G. HÜFNER sogar eine etwas geringere. Der Farbstoff der rothen Blutkörperchen bindet chemisch den Sauerstoff lose an sich, ohne sich mit ihm zu zersetzen, und besitzt die Fähigkeit, ihn wieder an andere Gewebe zur Oxydation abzugeben. KÜHNE beobachtete direct diese Sauerstoffabgabe an Flimmerzellen (S. 121). Die Verbindung ist so lose, dass der aufgenommene Sauerstoff von dem Blute für gewöhnlich durch

dieselben Mittel getrennt werden kann, welche die Chemie dazu benutzt, ganz indifferente Gase aus Flüssigkeiten auszutreiben. MAGNUS, LOTHAR MEYER, CL. BERNARD, dann SETSCHENOW, SCZELKOW, SCHÖFFER, PREYER u. A. in dem LUDWIG'schen Laboratorium, in der neuesten Zeit PFLÜGER sind es, denen wir vor Allem die Kenntniss des Gasgehaltes des Blutes verdanken. Sie haben die Gase, die sie untersuchten, aus dem Blute durch Auskochen, durch Einleiten anderer Gase, oder am besten durch Hereinbringen des Blutes in den luftleeren Raum (TORICELLI'sche Leere) gesammelt. Die Quantität Sauerstoff, welche 1 Gramm Haemoglobin zu binden vermag, berechnet sich theoretisch zu 1,27^{cc}. Die direkten Bestimmungen schwanken z. Thl. noch bedeutend unter diesem Werth (0.4—1.28^{cc} HOPPE-SEYLER); G. HÜFNER fand 1,16^{cc}), da die Anwesenheit sehr geringer Mengen anderweitiger oxydabler Stoffe das Resultat mehr oder weniger verkleinert.

Man hat lange daran festgehalten, dass ihr Eisengehalt es sei, welcher den Blutkörperchen die Fähigkeit, Sauerstoff anzuziehen, ertheile. Soviel steht fest, dass nicht den Eiweisskörpern der Blutkörperchen die besprochene Eigenschaft zukommt. Nach FERNET soll auch das Serum etwas Sauerstoff unabhängig vom Druck aufnehmen, ein Resultat, welches dadurch zweifelhaft wird, dass man Serum nie ganz haemoglobinfrei erhalten kann.

Der absolute Sauerstoffgehalt ist im venösen und arteriellen Blute verschieden, aber natürlich auch in keiner dieser Blutarten jemals konstant, da ja die Menge der Blutkörperchen je nach den Lebens- und Ernährungszuständen beständigen Schwankungen unterworfen ist und dem venösen Blute bei langsamerem Laufe oder während der Thätigkeit der Organe, die es durchströmt, mehr Sauerstoff entzogen werden muss. Bei raschem Strömen des Blutes durch die Organe behält das venöse Blut unter Umständen fast ganz die hellrothe Färbung des arteriellen Blutes und damit auch einen grösseren Theil seines Sauerstoffgehaltes. SETSCHENOW fand im arteriellen Menschenblute 16,41 Volumprocente Sauerstoff, in dem Blute aus der Carotis eines Hundes 15,05 V. pCt. Im venösen Blute ruhender Muskeln, wo der Sauerstoffgehalt sehr schwankend ist, fand SCZELKOW etwa 6 V. pCt. SETSCHENOW hat auch die Blutgase erstickter Thiere untersucht und fand darin den Sauerstoff fast oder wirklich vollkommen verschwunden, so dass sich nur noch Spuren von Sauerstoff oder keiner mehr durch Kochen und Auspumpen im luftleeren Raume austreiben liessen. GWOSDEW und KOTELEWSKY fanden, dass das bei Luftabschluss aufgefangene venöse Blut erstickter und anderweitig gestorbener Menschen und Thiere nur den Absorptionsstreifen des reducirten Haemoglobins darbietet (cf. unten).

Der Stickstoff ist im Blute einfach dem Luftwerke entsprechend absorbirt enthalten. Er beträgt etwa 1—2 V. pCt. MAGNUS und LOTHAR MEYER fanden ihn hier und da in grösserer Menge vor, letzterer in einem, wie es scheint, extremen Falle bis zu 5 V. pCt. (Nach FERNET und SETSCHENOW ist vielleicht ein kleiner Theil chemisch an die Blutkörperchen gebunden.)

Der beobachteten Sauerstoffverminderung im venösen Blute entspricht eine Vergrösserung des Kohlensäuregehaltes desselben. SETSCHENOW fand im Mittel im arteriellen Blute 30 V. pCt. Kohlensäure, SCZELKOW im Blute ruhender Muskeln 35 V. pCt. Ein Theil der Kohlensäure scheint im Blute einfach absorbirt und kann durch die oben erwähnten physikalischen Mittel aus

demselben ausgeschieden werden. Ein anderer Theil kann nur durch Säuren (welche nach PFLÜGER im Blute bei der Entgasung selbst entstehen, oder die man zusetzen kann: Weinsäure) ausgetrieben werden, ist also fester chemisch gebunden. Auch die auspumpbare Kohlensäure könnte möglicher Weise lose gebunden sein. Die Kohlensäurebindung besorgen die Blutkörperchen nicht oder nur zum kleinen Theil. J. v. LIEBIG zeigte, dass das zweibasisch-phosphorsaure Natron des Serums diese Eigenschaft besitzt, Kohlensäure an sich zu binden. Es leuchtet ein, dass einfach-kohlensaures Natron, indem es sich zu doppelt-kohlensaurem Natron mit einem weiteren Antheil Kohlensäure verbindet, eine lose Bindung, wie sie im Blute vorkommt, ebenfalls besorgen könnte.

Man hat gegen die Betheiligung des letzteren Salzes an der Kohlensäurebildung eingewendet, dass das Blut alkalisch reagirt, während Lösungen, die absorbirte oder locker gebundene Kohlensäure enthalten, sauer reagiren (PREYER). Dagegen haben PFLÜGER und ZUNTZ gezeigt, dass Blut auch nach vollkommener Sättigung mit Kohlensäure alkalisch reagirt. Auch noch unbekannte Verbindungen in den Blutkörperchen glaubt man an der lockeren Bindung der Kohlensäure im Blut betheiligt, da die Kohlensäureabsorption des Blutes nach anderen Gesetzen mit dem zunehmenden Drucke wächst als die des Serums (PFLÜGER und ZUNTZ). Das phosphorsaure Natron der Blutasche ist im Blute nicht in reichlicher Menge vorhanden und kann sich dem entsprechend auch nur in geringem Grade an der Bindung der Kohlensäure betheiligen. Es entsteht bei der Verbrennung aus Lecithin (HOPPE-SEYLER und SERTOLI). Die Kohlensäure ist ähnlich wie der Sauerstoff im Blute theils einfach absorbirt, theils chemisch locker gebunden; an welche chemischen Stoffe die Bindung der Kohlensäure statthat, ist, wie aus dem Gesagten hervorgeht, jedoch noch nicht vollkommen eruirt. Das Plasma, aber auch die rothen (AL. SCHMIDT) und weissen Blutkörperchen enthalten Kohlensäure.

HOLMGREN und J. W. MÜLLER haben die Spannung des Sauerstoffs in den Blutkörperchen bestimmt. HOLMGREN verfuhr in der Weise, dass er Blut im luftleeren Raum der Abdunstung aussetzte, bis ein Manometer keine Druckzunahme anzeigte, worauf er den Partialdruck des Sauerstoffes in den abgedunsteten Gasen bestimmte. Die Sauerstoffspannung scheint im Allgemeinen nach MÜLLER mit der Temperatur zu steigen. Die Abgabe von Sauerstoff aus sauerstoffreichem Blut an sauerstoffarme Luft und die Aufnahme von Sauerstoff aus sauerstoffreicher Luft in sauerstoffarmes Blut findet so lange statt, bis ein bestimmtes Verhältniss zwischen der Sauerstoffspannung im Blute und der Sauerstoffspannung in der überstehenden Luft eingetreten ist. Dieses Verhältniss wächst mit wachsender Temperatur. Der Sauerstoffdruck hängt ab von der Menge der im Blut enthaltenen Blutkörperchen resp. der Menge des Haemoglobins (Gasspannung im Blut cf. auch bei Athmung).

Die besten Bestimmungen, welche wir bisher besitzen, sind die von PFLÜGER ausgeführten. Aus seinen im Jahre 1867 angestellten Versuchen ergibt sich für das arterielle Blut kräftiger gesunder Hunde (100 Vol.

Maximalwerth	des Sauerstoffgehalts	25,4	Volumprocent
Mittelwerth	- -	22,2	-
-	der Kohlensäure . .	34,3	-
-	des Stickstoffs . .	1,8	-
	Gesammtmenge	58,3	Volumprocent.

Weit geringere Werthe, bedingt durch weniger vollkommene Methoden der Blutgasgewinnung, ergeben Mittelzahlen aus 10 Analysen der Gase von arteriellem Hundeblut aus dem LUDWIG'schen Laboratorium, in Volumprocenten bei 0° und 1 M. Hg. D.

	Gesammtgasmenge:	Kohlensäure:	Sauerstoff:	Stickstoff:
nach LUDWIG . . .	45,9	29,7	14,6	1,6

Als Beispiel des quantitativen Gasgehaltes im Menschenblute mag eine Bestimmung von Setschenow dienen.

In 100 Volum Blut waren:		Oder 100 Volum Blutgase enthalten:	
Gesammte Gasmenge . . .	48,20	Sauerstoff . .	34,1 Volumprocent
Sauerstoff	16,41	Stickstoff . . .	2,4 -
Stickstoff	1,20	Kohlensäure .	63,5 -
Kohlensäure:			
frei	28,27		
gebunden	2,32		
gesammt	30,59		

Die analytischen Resultate beanspruchen nur den Werth von Beispielen, bei den Schwankungen im Gasgehalte des Blutes unter verschiedenen Lebenszuständen des Thieres, von dem man das Blut gewonnen, sind Mittelwerthe von untergeordneter Bedeutung. Näheres bei dem Gaswechsel in der Lunge.

Das Gesammtblut hat viel mehr Gase als das Serum. Nach den vergleichenden Analysen, von Schöffer an Hundeblut angestellt, ergaben sich in einem Versuche folgende Verhältnisse in Volumprocenten:

	Gesammtgasmenge:	davon CO_2 auspumpbar:	CO_2 gebunden
Blut	41,48	24,62	1,59
Serum	11,28	10,20	23,77.

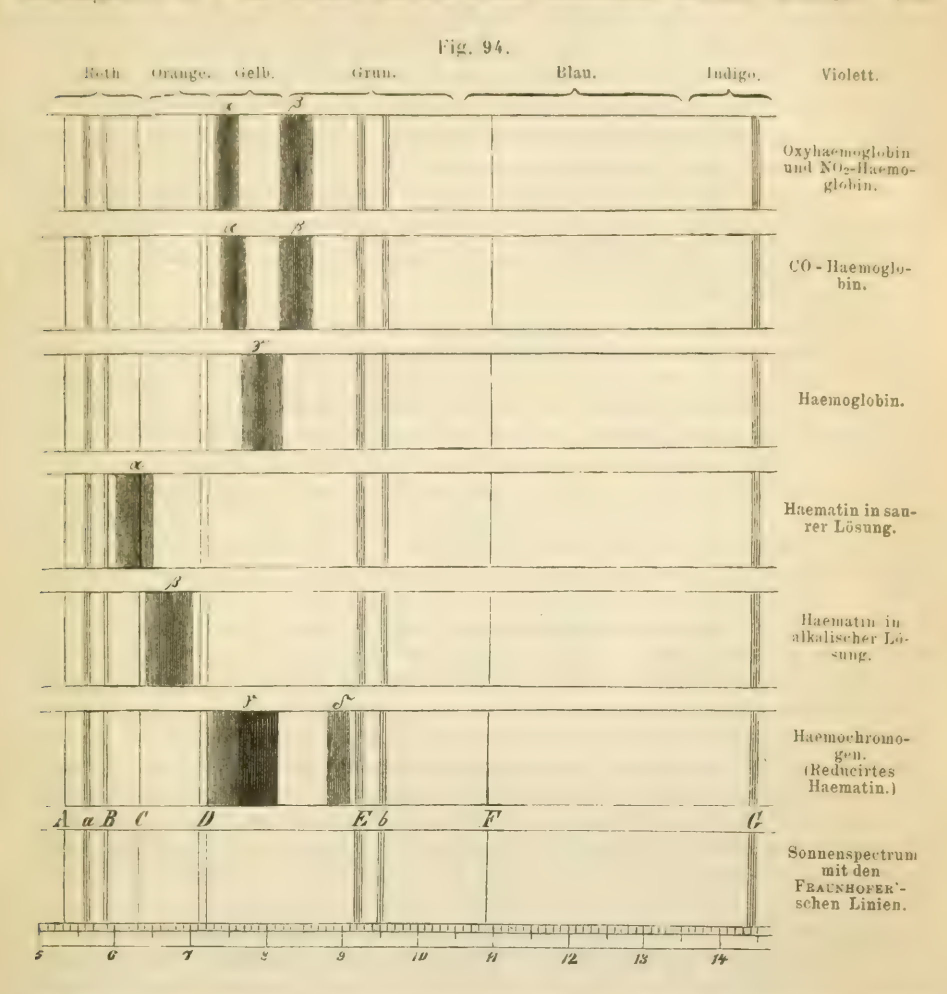
In Beziehung auf die Gewinnungsmethode der Kohlensäure ist zu bemerken, dass, wie gesagt, nach der Methode von Pflüger ein Säurezusatz zum Blute zur Austreibung des letzteren nicht nöthig ist, da in dem Blute bei dem vollkommenen Entgasen eine Säure entsteht, welche die chemische Zersetzung selbst zu übernehmen vermag. Diese Säure des Blutes entsteht in oder aus den Blutkörperchen. Sie entsteht in grösserer Menge bei Anwesenheit von mehr Sauerstoff, also im arteriellen Blute, und in venösem Blute, das mit Luft geschüttelt wurde, wie sich aus den Beobachtungen von Pflüger, Schöffer und Preyer ergibt, dass die Kohlensäure leichter aus den genannten Blutarten entweicht. Es scheint sich also die Säure durch Oxydation in dem Blute zu bilden. Nach den Untersuchungen Hoppe-Seyler's entstehen bei der Zersetzung des Haemoglobins stets neben den Hauptspaltungsprodukten auch organische Säuren, unter denen er Ameisensäure und Buttersäure erkannte. Pflüger deutete darauf hin, dass eine Säurebildung im normalen, kreisenden Blute stets stattfinden möchte, die in ähnlicher Weise sich an der Austreibung der Kohlensäure betheiligen würde. Nach meinen Beobachtungen, dass bei in der Zeit gesteigertem Stoffwechsel im Tetanus das Blut sogar im lebenden Organismus (bei Fröschen) sauer werden könne, scheint diese Annahme kaum eine Hypothese mehr. Die Beobachtungen von Zuntz über Abnahme der Alkalescenz des Blutes bei dem Absterben desselben cf. oben.

Das optische Verhalten des Haemoglobins.

Die Krystalle des Oxyhaemoglobins sind doppeltbrechend und pleochromatisch. Reine Oxyhaemoglobinlösung zeigt eine schöne rothe Farbe, wenn sie unter Luftzutritt hergestellt wurde. Man beobachtet die Wirkung der Blutfarbstoffe auf das durchfallende Licht, indem man Lösungen derselben von wechselndem Gehalte und gleicher Schichtdicke vor den Spalt eines Spectralapparates bringt und das Spectrum unter diesem Einfluss beobachtet (Hoppe-Seyler). Concentrirtere Blutlösungen lassen nur den rothen Theil des Spectrums sichtbar. Bei fortgesetzter Verdünnung tritt Aufhellung bis zur Fraunhofer'schen Linie D ein, dann tritt Licht zwischen der Linie E und F im Grün auf, nach

weiterer Verdünnung kommt das Spectrum bis zum Violett zur Erscheinung. Es bleiben nur zwei dunkle Absorptionsstreifen im grünen Theil des Spectrums zwischen D und E, die noch bei einer Lösung von $^1/_{10000}$ Haemoglobin in 1 cm dicker Schicht nicht übersehen werden können. Der

Fig. 94.



erste Absorptionsstreif (α) ist schmäler, dunkler und besser begrenzt, als der von ihm durch einen hellen Zwischenraum getrennte zweite (β). Mit zunehmender Verdünnung verschwinden sie (zuerst β). Durch die Beobachtungen von STOKES ist es erwiesen, dass diese beiden Absorptionsbänder dem Oxyhaemoglobin angehören. Durch Zubringen von Sauerstoff absorbirenden Substanzen zur Blutlösung schwinden die beiden Streifen, während an ihrer Statt in dem hellen Raum, den sie zwischen sich liessen, ein breiter Schatten mit verwaschenen Rändern (γ) auftritt. Dieser einfache Absorptionsstreifen entspricht dem (sauerstofffreien) Haemoglobin. Durch Schütteln mit Luft nimmt das Haemoglobin wieder Sauerstoff auf, verwandelt sich zurück in Oxy-

haemoglobin, die Lösung zeigt wieder die beiden Absorptionsbänder (α und β), die durch reducirende Mittel wieder in das einfache Band des Haemoglobins übergeführt werden können. VIERORDT lehrte die beiden Blutfarbestoffe im lebenden Menschenkörper direkt zu beobachten. Presst man zwei Finger fest aneinander und hält die Grenzlinie beider vor den Spalt des Spectralapparats, so zeigen sich die Oxyhaemoglobinstreifen. Unterbricht man dabei die Circulation in den Fingern durch Zusammenpressung mittelst Kautschukringen, so tritt das Band des Haemoglobins auf. Das Blut eines Tiefermüdeten hat (VIERORDT, LENDNER) einen geringeren Oxyhaemoglobingehalt als das Blut eines eben durch den Schlaf gestärkten Menschen.

Die rothen Blutkörperchen zeigen im Mikrospektrum dasselbe Verhalten wie Haemoglobinlösungen (HOPPE-SEYLER, PREYER, STRICKER). Ein Blutkörperchen des gesunden Menschen enthält nach MALASSEZ 27,7—31,9 Mikro-Milligramm Haemoglobin.

Von den Gewebsbestandtheilen wird innerhalb des Capillarsystems, wie oben gezeigt dem Oxyhaemoglobin der Sauerstoff entzogen, so dass das venöse Blut Haemoglobin enthält. Zur Anstellung des Grundversuches mit dem Spectralapparat kann man verschiedene leicht reducirende Flüssigkeiten verwenden, z. B. ein Gemisch von Eisenvitriol, Weinsäure und überschüssigem Ammoniak (STOKES), das man tropfenweise zusetzt, oder Schwefelammonium oder eine ammoniakalische Lösung von weinsaurem Zinnoxydul. Durch die beiden letzteren Flüssigkeiten, die farblos sind, wird die Farbe des Blutes dem venösen Blute ähnlich, das Roth nimmt ab, es bekommt einen Stich ins Bläuliche, in dünnen Schichten erscheint es grün. Durch reducirende Stoffe wird sonach das monochromatische Haemoglobin dichromatisch. Sauerstoff stellt die Monochromasie wieder her. (Ueber die Zersetzung des Blutfarbestoffs cf. S. 395).

Leitet man in die Blutlösung **Kohlenoxydgas**, so tritt eine leichte Verschiebung des ersten Streifens des Oxyhaemoglobins (α) nach dem zweiten zu ein, es ist das das Spectrum des Kohlenoxyhaemoglobins, welches durch reducirende Substanzen nicht sofort verändert werden kann, dieselben lassen in der oben angegebenen Weise angewendet die beiden Absorptionsstreifen bestehen. Wenn das Blut nicht vollkommen mit Kohlenoxyd gesättigt, wenn also noch Oxyhaemoglobin neben Kohlenoxydhaemoglobin in der Lösung vorhanden ist, so zeigt sich bei Anwendung reducirender Substanzen zwischen den bleibenden Absorptionsbändern des letzteren der Schatten des reducirten Haemoglobins. Analog wie Kohlenoxyd verhält sich **Stickoxyd**, seine nach Anwendung reducirender Stoffe bleibenden beiden Absorptionsbänder stimmen mit denen des Oxyhaemoglobins, wie es scheint, vollkommen überein.

Alle Einwirkungen, welche aus Haemoglobin durch Zersetzung **Haematin** entstehen lassen (S. 395), verändern auch das Spectrum des Blutes, wie schon der Uebergang des Roth der Lösung in Braun und Grün andeutet. Die nach solchen Einwirkungen im Spectrum erscheinenden dunklen Absorptionsstreifen werden von dem Haematin erzeugt. Das Haematin hat in saurer und alkalischer Lösung eine verschiedene Farbe, ebenso zeigt sich auch das Spectrum verschieden. Setzt man zu einer etwas concentrirteren Lösung von Blutroth oder Blut etwas Essigsäure, so schwinden die Streifen des Oxyhaemoglobin (α und β), und es tritt ein neuer Streifen auf, welcher die FRAUNHOFER'sche Linie *C* an der Grenze des Roth zu Orange deckt (α im Haematinspectrum). Uebersättigung mit Alkali schiebt den Streifen an die Grenze des Gelb nach *D* hin (β), und man kann willkürlich durch Ansäuern oder Alkalischmachen die beiden Streifen abwechselnd hervortreten lassen, von denen der in alkalischer Lösung weniger scharf begrenzt erscheint. Behandelt man die Haematin-Lösung mit der oben beschriebenen Lösung von Eisenvitriol (STOKES'sche Flüssigkeit), so treten zwei dunkle Streifen des reducirten Haematins, Haemochromogens (HOPPE-SEYLER), auf (γ und δ), von denen

der erste etwa an derselben Stelle beginnt, wie der erste α des Oxyhaemoglobins, aber viel breiter ist, der zweite ist weiter gegen Grün E zugerückt als der zweite des Oxyhaemoglobins (β), mit dessen Absorptionsstreifen man die des reducirten Haematins verwechseln konnte. Durch Schütteln mit Luft verschwinden letztere aber gänzlich (KÜHNE). PREYER versetzte wässerige Blutlösungen mit Aethyläther und sehr wenig Eisessig, er bekam dann ein Haematin-Spectrum mit 4 Absorptionsstreifen, das er einem krystallirbaren Haematin, das er Haematoin nennt, zuschreibt. Ein Absorptionsstreifen liegt zwischen C und D, zwei zwischen D und E, von denen der erste sehr schwach, der zweite stark ist, der vierte liegt vor F. Dasselbe Spectrum sah zuerst STOKES. Es entsteht auch durch einen mit schwefelsäurehaltigem Alkohol bereiteten Blutauszug, ferner gaben viele Säuren (Oxalsäure, Phosphorsäure, Salpetersäure) mit verdünntem Blut oder Sauerstoffhaemoglobin mit oder ohne Aether die 4 Streifen. In siedender Essigsäure gelöste Haeminkrystalle zeigen dasselbe Spectrum. Der Unterschied des Haematoin von Haemin oder Haematin ist noch nicht bestimmt festgestellt, da die angebliche Entstehung ohne Kochsalz dafür kaum beweisend sein dürfte.

Setzt man nur wenig Säure zum Blut, so wird, wie LOTHAR MEYER und PFLÜGER angaben, Sauerstoff fester gebunden. Hierbei entsteht Peroxhaemoglobin, ein höher oxydirtes Haemoglobin (AXEL JÄDERHOLM), welches bei Einwirkung vieler oxydirender Substanzen ebenfalls entsteht. Es zeigt in saurer und alkalischer Lösung die 4 Absorptionsstreifen des sauren Haematins.

STOKES gab an, dass man durch reducirende Mittel aus Haematin wieder Oxyhaemoglobin erzeugen könne, es beruhte das wenigstens z. Thl. auf einer Verwechselung mit dem reducirten Haematin. Ein eisenhaltiges, saures Haematin soll nach PREYER nicht existiren, das Haematin in saurer Lösung sei eisenfreier Farbstoff mit Eisenoxydul in saurer Lösung, eine Meinung, welche AXEL JÄDERHOLM als irrig widerlegte.

Zur Untersuchungsmethode. — Das Spectroscop besteht im Wesentlichen aus einem stark brechenden Prisma, durch welches der Lichtstrahl in sein Spectrum zerlegt wird. Das Prisma ist bedeckt und es wird ihm Tageslicht oder das Licht einer (für die optische Blutuntersuchung) leuchtenden Petroleum- oder Gasflamme durch ein Rohr zugeführt, dessen vorderes, der Flamme zugekehrtes Ende bis auf einen feinen vertikalen Spalt verschlossen ist, durch den das Licht eintreten kann. An dem gegen das Prisma gekehrten Rohrende befindet sich eine achromatische Linse, durch welche die Lichtstrahlen parallel gemacht werden. Gegen die eine Prismafläche ist ein astronomisches Fernrohr gerichtet, dessen Objectiv so gestellt ist, dass das Spectrum in das Fernrohr eintretend dem Auge des Beobachters (etwa 6 Mal vergrössert) erscheint. In den kleinen STEINHEIL'schen Spectroscopen trägt ein drittes Rohr eine Millimeterscala auf einer Glasplatte, welche mit Staniol so weit bedeckt ist, dass nur der schmale Streifen mit den Theilstrichen und Zahlen sichtbar bleibt. Diese Scala wird durch eine dicht davor aufgestellte Lampe oder Kerze beleuchtet. Das durch totale Reflexion entstehende Spiegelbild der Millimeterscala erscheint in Folge der Stellung der Rohre im Beobachtungsfernrohr an demselben Ort wie das Spectrum, so dass die Stellung und die gegenseitige Entfernung der Spectrallinien und Absorptionsbänder unmittelbar auf der Scala abgelesen werden können.

Die Farbstofflösungen, welche spectroscopisch geprüft werden sollen, bringt man zwischen das Licht und den Spalt der erstgenannten Röhre, so dass das Licht durch die Lösung in den Spalt eintritt. Man kann zur Aufnahme der Lösungen Proberöhrchen verwenden, besser eignen sich die von HOPPE-SEYLER angegebenen Glaskästchen mit (planparallelen) Spiegelglaswänden, deren Abstand 1 Centimeter beträgt (Haematinometer). Die vier Glasplatten des Kästchens sind auf einander geschliffen, und werden durch einen auseinandernehmbaren Rahmen von Metall mit Fuss gehalten. Man kann für viele Zwecke, wie bei dem VOGEL'schen Apparat zur Milchprobe, die Gläser auch definitiv in dem richtigen Abstand einkitten lassen.

Zur spectroscopischen Untersuchung auf gewisse chemische Elemente, namentlich Metalle, verwendet man bekanntlich nicht leuchtende Flammen (die BUNSEN'sche Lampe oder eine Wasserstoffflamme), in denen man die betreffenden, zu

untersuchenden Stoffe glüht, wodurch die ihnen zugehörenden discontinuirlichen Spectra, deren helle Linien z. Th. mit den dunklen FRAUNHOFER'schen zusammenfallen, erzeugt werden. Die Natronflamme gibt z. B. eine einzige intensiv gelbe Linie auf dunklem Grunde entsprechend der FRAUNHOFER'schen Linie *D*; Thallium gibt eine grüne, Kali eine rothe und eine blaue Linie auf fast dunklem Grund, wodurch die Erkennung dieser Stoffe und vieler anderer ermöglicht ist.

E. RAY-LANCESTER hat die in der Flüssigkeit gelösten Blutfarbstoffe niederer Thiere spectroscopisch untersucht und gezeigt, dass manche derselben mit dem Haemoglobin, wie schon oben erwähnt, nahe verwandt sind oder übereinstimmen. L. FRÉDERICQ fand im Plasma des Blutes von Polypen (Octopus vulgaris) eine ungefärbte albuminoide Substanz, welche sich wie das Haemoglobin mit Sauerstoff lose verbindet zu einem Körper mit gesättigt blauer Farbe: Haemocyanin; im Vacuum, in Berührung mit lebenden Geweben, beim Aufbewahren in einem geschlossenen Gefäss gibt er wie Oxyhaemoglobin den Sauerstoff ab und wird farblos; anstatt des Eisens im rothen Blutfarbestoff enthält dieser neue Blutfarbestoff Kupfer (S. 403).

K. VIERORDT prüfte das spectroscopische Verhalten verschiedener thierischer Farbstoffe. Die gelben Farbstoffe des Blutserums, des Harns, der Hydrocelenflüssigkeit stimmen darin überein, dass die Absorption des Spectrums vom Roth gegen das violette Ende hin zunimmt, im Einzelnen zeigen sie aber so grosse Differenzen, dass man sie als verschiedene Farbstoffe betrachten muss. Dagegen constatirte VIERORDT, dass spectroscopisch der normale Harnfarbestoff immer die gleiche Substanz ist.

Die Absorptions-Spectren der Gallefarbstoffe, Lösungen von Bilirubin in Chloroform, zeigen nach VIERORDT keinen Absorptionsstreifen, dagegen zeigt die alkoholische Lösung des Biliverdin einen schlecht begrenzten in Roth.

Verschiedenheiten in der Blutzusammensetzung.

Es finden eine grosse Anzahl von Einflüssen auf die Zusammensetzung des Blutes im Organismus statt, und zwar nach den verschiedenen Gefässbezirken sehr wechselnde. Besonders war es die Pathologie, welche von vergleichenden Blutanalysen in Krankheiten sich eine grosse Hülfe für die Diagnose versprach, da man mit Sicherheit voraussetzen zu dürfen glaubte, dass die durch die krankhaften Stoffwechselverhältnisse des Körpers gesetzten Blutveränderungen gross genug sein würden, um sich der chemischen Analyse nicht zu entziehen. Die Erwartungen der Pathologie wurden bisher ziemlich getäuscht. Der Grund liegt vor Allem darin, dass die Methoden der Untersuchung noch immer eine vollkommenere Ausbildung vermissen lassen, und dass die normalen Verschiedenheiten der Blutzusammensetzung an einer und derselben Stelle unter scheinbar unveränderten Bedingungen so gross sein können, dass auch bedeutende Schwankungen noch innerhalb der Grenzen der möglichen Fehlerquellen hereinfallen.

Arterielles und venöses Blut. Schon der alten Zeit ist der grosse Unterschied aufgefallen, den das Blut in den beiden Hauptgefässabschnitten, im arteriellen und venösen Systeme, zeigt. Diese Verschiedenheiten beziehen sich vor Allem auf die Farbe der beiden Blutarten. Während das venöse Blut dunkel, fast blauroth erscheint und einen deutlichen Dichroismus erkennen lässt, ist das arterielle Blut hellroth und nicht dichroitisch. Man erkannte früh, dass dieser Farbenunterschied sich von dem verschiedenen Gasgehalt des arteriellen und venösen Blutes herleitet. Schüttelt man venöses, dunkelrothes Blut mit Sauer-

stoff oder lässt es nur an der Luft in dünner Schicht der Berührung mit Sauerstoff ausgesetzt, so wird es hellroth. Leitet man dagegen Kohlensäure ein oder schüttelt man das Blut damit, so verliert es wieder seine hellrothe Farbe und wird dunkel. Treibt man im Vacuum alle Blutgase aus, so wird das Blut in einige Linien dicken Schichten schwarz.

Die Farbenänderung durch Sauerstoff rührt zumeist von einer directen Einwirkung desselben auf den Blutfarbstoff her. Auch Blutfarbstoff ausserhalb der Blutzellen zeigt noch die hellere Röthung durch Sauerstoff. Die dunkle Farbe scheint zunächst das Resultat des Sauerstoffmangels zu sein, da sie wie angegeben am stärksten im ganz gasfreien Blute auftritt. Von dem Auftreten von sauerstofffreiem Haemoglobin rührt vor Allem der Farbenunterschied und der Dichroismus des venösen Blutes her. Das Oxyhaemoglobin ist monochromatisch. Einen Antheil an den Veränderungen der Farbe des Blutes sollen auch die Blutkörperchen selbst haben und zwar durch Gestaltveränderungen, die sie erleiden können. Verdünnt man Blut mit Wasser, so wird seine Farbe dunkler, dem venösen ähnlicher, setzt man zu dunklem Blute ein Salz, so wird die Farbe mehr arteriell. Es ist unzweifelhaft, dass durch die Verdünnung mit Wasser und durch den Salzzusatz zu dem Blute die Form der Blutkörperchen eine andere wird. Durch Wasser schwellen sie auf und verlieren mehr oder weniger ihre bikonkave Gestalt, durch den Salzzusatz schrumpfen die Körperchen. Man hat diese Formschwankungen als Grund der Farbenänderung herbeigezogen. Jedes normale bikonkave Körperchen muss als Hohlspiegel wirken, der das Licht concentrirt zurückwirft. Die kugeligen Flächen der gequollenen Blutkörperchen werden dagegen das Licht zerstreuen. Harless behauptete, dass der Sauerstoff die Blutkörperchen konkaver mache und schrumpfe, Kohlensäure sie aber aufschwellen lasse.

Gorup-Besanez stellt die von Nasse, Lehmann u. A. gefundenen Unterschiede im arteriellen und venösen Gesammtblute übersichtlich zusammen:

	Arterienblut:	Venenblut:
Farbe	heller und nicht dichroitisch	dunkler und dichroitisch
Gasgehalt . . .	relativ mehr Sauerstoff	relativ mehr Kohlensäure
Wasser . . .	mehr	weniger
Fibrin	mehr	weniger
Blutkörperchen .	weniger	mehr
Albumin . . .	keine constante Differenz	keine constante Differenz
Fette	desgl.	desgl.
Extraktivstoffe .	mehr	weniger
Harnstoff . . .	weniger (?)	mehr (?)
Salze	mehr	weniger
Zucker . . .	mehr (?)	weniger (?).

Man darf bei dieser Tabelle nicht die im Allgemeinen nöthige Vorsicht bei der Beurtheilung der Ergebnisse der Blutanalysen vergessen. Die auffälligen Verschiedenheiten, welche Lehmann z. B. für Lebervenen-, Leberarterien- und Pfortaderblut gefunden haben wollte, sollen nach C. Flügge nicht existiren, die Differenzen fallen seiner Meinung nach fast ganz in die Fehlergrenzen der Bestimmungsmethoden. Mit besseren Methoden als Flügge arbeitete W. Drosdorf. Er fand, übereinstimmend in vier Versuchen, dass das Pfortaderblut von Hunden, welche mit Fleisch, Brot und Milch gefüttert waren, 3 Stunden nach der Fütterung mehr feste Stoffe enthalte, als das Lebervenenblut, ebenso mehr Fett, dagegen enthält das Leber-

venenblut mehr Cholesterin und Lecithin, das Pfortaderblut ist reicher an Natriumphosphat, die Ergebnisse sind im Mittel:

	feste Stoffe	Fett	Natriumphosphat
Pfortaderblut:	24.00	0.506	0.0524
Lebervenenblut:	22.78	0.085	0.0369

Das Lebervenenblut enthält frisch nur Spuren von Zucker (Pavy).

Landois findet, dass die mit Kohlensäure behandelten »venösen« rothen Blutkörperchen lösenden Einflüssen viel rascher erliegen, als mit Sauerstoff behandelte »arterielle«. Das Serum von Hundeblut genügt, um die leichtlöslichen rothen Blutkörperchen der Kaninchen und Meerschweinchen aufzulösen; ein Wink für die Erklärung der verschiedenen Wirkungen des Blutes verschiedener Thiere bei der Transfusion.

Cl. Bernard hat gezeigt, dass das venöse Blut der auf Trigeminusreizung arbeitenden Speicheldrüsen sich in seiner Farbe ganz dem arteriellen ähnlich verhält. Es rührt das z. Th. daher, dass das Blut durch die während der Reizung erweiterten Gefässe mit grösserer Geschwindigkeit als sonst hindurchströmt und so nicht Zeit hat, seinen Sauerstoff so reichlich abzugeben wie sonst. Es beweist dieses aber nicht, dass die arbeitende Drüse etwa weniger Sauerstoff verbrauche als die ruhende, ihre bekannte Temperaturerhöhung während der Sekretion spricht für das Gegentheil. Wenn eine gleiche Volumeinheit Blut in der arbeitenden Drüse weniger Sauerstoff abgibt als in der ruhenden, so strömt doch durch erstere in den erweiterten Gefässen so viel mehr Blut in einer gleichen Zeit, dass die geringere Sauerstoffabgabe der einzelnen Bluteinheit dadurch noch überkompensirt wird.

Der Einfluss der Nahrung auf die Blutzusammensetzung ist theilweise nicht schwer ersichtlich. Nach fettreicher Nahrung finden sich die Fette im Blute vermehrt, so dass das Serum milchig getrübt erscheinen kann; nach Brodnahrung ist die Zuckermenge, nach gesteigertem Salzgenuss sind die Aschenbestandtheile des Gesammtblutes gesteigert. Sehr bemerkenswerth ist es, weil es mit unseren Anschauungen der übrigen Ernährungsvorgänge übereinstimmt, dass längeres Hungern und ebenso wirkende andauernde Säfteverluste oder wiederholte Aderlässe alle übrigen Blutbestandtheile vermindern, nur das Wasser vermehren: der Organismus wird im Ganzen, also auch sein Blut, durch diese Einflüsse wässeriger. Umgekehrt wirkt Nahrungsaufnahme. Während der Verdauung ist nur der Wassergehalt vermindert und alle sonstigen Bestandtheile des Blutes vermehrt. In den ersten Hungertagen sinkt der Wassergehalt des Blutes. Länger fortgesetzte Fleischnahrung vermindert ebenfalls den Wassergehalt, vermehrt den Gehalt an Fibrin, Haemoglobin, Extraktivstoffen und Salzen. Vegetabilische Nahrung — wie die obigen Angaben ebenfalls den Resultaten der Gesammternährungsversuche entsprechend — vermehrt dagegen den Blutwassergehalt, das Albumin und die Fette, vermindert aber das Fibrin, die Extraktivstoffe und Salze. Fleischnahrung vermehrt, stickstoffarme Kost vermindert den Haemoglobingehalt des Blutes. Bei Hunden fanden Subbotin und Forster letzteren bei Fleischnahrung im Mittel zu 13,75%, bei Brod zu 9,4—10,3%, bei stickstoffloser Nahrung zu 9,5%. Nach Leichtenstern haben fette Personen einen relativ geringeren Haemoglobingehalt. Hunger steigert bei Kaninchen (bei allen Pflanzenfressern?) den Haemoglobingehalt.

Ueber den Einfluss der Muskel-Arbeitsleistung auf die Blutzusammensetzung weiss man, dass direct nach der Arbeit das Blut procentisch weniger Wasser enthält als während der Ruhe, da sich die Muskelzersetzungsprodukte, die sich während der Arbeitsleistung in grösserer Menge bilden, zuerst in ihm anhäufen (J. Ranke); das Blut kann (bei Fröschen) dabei eine saure Reaktion annehmen. P. Spiro fand im Blute von Thieren, welche einige Zeit tetanisirt waren, viel Fleisch-Milchsäure: 350cc Hundeblut gaben 0.431 Gramm milchsaures Zink; 130cc Kaninchenblut (von zwei Thieren) sogar 1.232 Gramm. Da bei Ausschluss der Ernährung oder mangelhaftem Wiederersatz des Mehrverbrauches bei Arbeit der Muskel und der Gesammtorganismus wasserreicher werden, so wird es in Folge davon später auch das Blut, da sein Wassergehalt ein konstantes Verhältniss zeigt zu dem

Wassergehalt der Gewebe (SCHOTTIN). In diesem Falle wirkt also übermässige Arbeit wie fortgesetzte Säfteverluste.

Auch Alter und Geschlecht sind von bestimmendem Einfluss auf die Blutzusammensetzung, und es kann uns dieses um so weniger Wunder nehmen, da wir ja wissen, dass diese ebengenannten Begriffe fast vollständig durch verschiedene Ernährungszustände gedeckt werden, deren Einwirkung auf die Blutmischung wir schon besprochen haben. Männer haben weniger Wasser im Blute und mehr Blutkörperchen als Frauen und Greise. Das Blut der Frauen ist etwas fettreicher. In der Schwangerschaft soll das Fibrin des Blutes relativ vermehrt sein. Das Blut der Schwangeren bildet gern eine Speckhaut, was auf einer Verzögerung der Gerinnung oder Beschleunigung der Senkung der Blutkörperchen und Vermehrung des Fibringehaltes beruht. Das specifische Gewicht des Gesammtblutes ist dann geringer (H. NASSE), die Farbe dunkler, der Wassergehalt vermehrt, ebenso der Fettgehalt und das Fibrin, die löslichen Blutsalze und der Eisengehalt nehmen ab. Bei Milchabsonderung sinkt der Fettgehalt des Blutes.

PANUM konstatirte durch zahlreiche Versuche (an Hunden) die Beobachtung DENIS', dass das Blut Neugeborener mehr feste Stoffe enthalte, als das Erwachsener. Im Blut der Mutter fand er 13,8%, im Blut der Neugeborenen zwischen 19,26—22,8% feste Stoffe, den relativen Haemoglobingehalt fand er u. a. bei den Neugeborenen beinahe um das Doppelte höher. Bald nach der Geburt wird aber das Blut der Säuglinge wasserreicher und sogar mehr, als das Erwachsener, ebenso relativ ärmer an **Haemoglobin**. O. LEICHTENSTERN bestätigt die letztere Angabe. Er findet den Haemoglobingehalt des Menschenblutes am kleinsten im Alter von ½—5 Jahren, am höchsten zwischen dem 21. und 45. Jahre. Das Frauenblut ist im Allgemeinen um einige Procente ärmer an Farbstoff, als das Männerblut. Chronische Krankheiten, vor Allem Chlorose, Leukaemie, perniciöse Leukaemie, Quecksilberkuren, zeigen Farbstoffverminderung, solche Leiden, bei denen das Blut »eingedickt« wird (Ileus), Vermehrung; fieberhafte Leiden gaben LEICHTENSTERN keine konstanten Resultate.

Das Menstrualblut zeichnet sich fast immer durch den Mangel der Faserstoffgerinnung aus, die entweder schon im Uterus stattgefunden haben mag oder, vielleicht durch Zumischung des Schleims der inneren weiblichen Genitalien, verhindert wird. Das Mikroskop zeigt die Beimischung des Genitalschleims zu dem Blute.

Von den einzelnen Blutarten in den verschiedenen Gefässprovinzen ist an den speciellen Orten die Rede. Pathologische Blutzusammensetzung cf. unten.

Die Stoffvorgänge im lebenden Blute.

A priori könnte es wahrscheinlich erscheinen, dass im Blute, in welchem sich eine beträchtliche Anzahl von Zellen und zellenähnlichen Gebilden findet, in nicht ganz unbedeutender Weise chemische Lebensvorgänge eintreten können.

Leider ist über den Wechselverkehr der Blutkörperchen mit der Blutflüssigkeit noch wenig erforscht.

Vor Allem müssen wir bei dem Leben der Blutkörperchen an Stoffaufnahme und -Abgabe denken. Dass unter Umständen Diffusion zwischen den Blutkörperchen und der sie umgebenden Flüssigkeit stattfindet, beweisen die Formänderungen, welche wir erstere eingehen sehen bei Concentrationsschwankungen des Serums. Wir sehen, dass die physiologischen Verschiedenheiten in der Concentration z. B. durch Nahrungsaufnahme und Muskelbewegung mit Grössenverschiedenheiten der Blutzellen ebenso verknüpft sind, als directer Salz- oder Wasserzusatz zum Blute. NASSE hat die Diffusion zwischen Körperchen und Plasma direct nachgewiesen.

Wie Vieles bleibt aber noch dunkel! Woher rührt es, dass in den normalen Blutkörperchen sich die verschiedene Zusammensetzung der anorganischen wie organischen Bestandtheile trotz dem Diffusionsverkehr ungestört erhalten kann? Woher kommt es, dass bei gewissen Krankheiten, z. B. Cholera, die Blutkörperchen diese Fähigkeit des Beharrens in ihrer chemischen Constitution verlieren? Wir finden im Cholerablutserum **Kalisalze** und Phosphorsäure in reichlicher Menge. Auf der Anwesenheit der ersteren beruhen zweifelsohne die Hauptkrankheitssymptome. Bernard hat gezeigt, dass schon minimale Mengen von Kalisalzen, direct in das Blut gebracht, die normalen Functionen desselben und damit das Leben des Organismus vernichten. Die Cholerakrämpfe rühren von den freien Kalisalzen im Serum her, welche auf das Muskelsystem (J. Ranke), zuerst auf das Herz (Traube) im Anfange erregend und dann ermüdend und lähmend wirken. Bei vielen Krankheiten mag die objective Ermüdung, die ihnen vorausgeht und sie begleitet, damit zusammenhängen, dass die Blutkörperchen nicht mehr im Stande sind, ihre Kalisalze in sich festzuhalten. Nasse zeigte, dass unter der Einwirkung von Kohlensäure die rothen Blutkörperchen feste Stoffe (Kalisalze?) an das Plasma abgeben und dafür Kochsalz aus letzterem in sich aufnehmen.

Bei dem Absterben des Blutes scheint eine analoge Veränderung in den Diffusionsvorgängen zwischen den geformten und flüssigen Blutbestandtheilen stets einzutreten. Auf sie lässt sich vielleicht zum Theil der (geringe) Kaligehalt, der im Serum gefunden wird, beziehen, soweit es nicht von der Nahrung herrühren kann. Während des Absterbens bilden sich im Blute ebenso Zersetzungsprodukte wie in den übrigen Geweben, auch fixe Säuren entstehen dabei. Luchsinger findet, dass Erstickungsblut (sowie überhitztes Blut) stark reizende Wirkungen besitzt, welche auf chemische Veränderungen, die das Blut erlitten hat, zurückzuführen sind. Auf der Wirkung der fixen Säuren, welche sich mit der von Nasse constatirten der Kohlensäure combinirt, wird auch im Blute die Veränderung in den Diffusionsvorgängen beruhen. Unter der Wirkung einer Säure sahen wir auch die Muskelfaser Stoffe aufnehmen und abgeben, denen sie bei ungestörtem Chemismus den Eintritt wehrt, oder die sie in sich zurückhält. Mit der Veränderung der weissen Blutkörperchen bei dem Absterben tritt nach A. Schmidt die fibrinoplastisch wirkende Globulinsubstanz und das Faserstofferment aus und betheiligen sich an der Ausscheidung des Faserstoffs.

Pflüger beobachtete, dass nach der Entleerung des Blutes aus der Ader der Sauerstoffgehalt desselben abnimmt, während der Kohlensäuregehalt steigt. Das Blut enthält sonach Substanzen, die dem Oxyhaemoglobin den Sauerstoff entziehen, ein Vorgang, der im lebenden Blute fortwährend stattfinden muss, ganz analog der Gewebsathmung, die wir unten noch näher kennen lernen werden. Man kann diese Veränderung des Gasgehaltes des Bluts Blutathmung nennen. Bei Säuerung des Blutes bindet das sich zersetzende Oxyhaemoglobin Sauerstoff fester (Pflüger u. A.); es entsteht Methaemoglobin (Hoppe-Seyler), Peroxhaemoglobin (A. Jäderholm). A. Schmidt hat im Erstickungsblut eine gesteigerte Blutathmung nachgewiesen, nach Affanassiew findet die Sauerstoffbindung dabei nicht im Serum, sondern in den weissen oder rothen Blutkörperchen statt.

Ob die bis zur Gerinnung fortschreitenden chemischen Blutumwandlun-

gen eine nachweisbare Temperaturzunahme im Blut veranlassen, wie nach J. MÜLLER schon von älteren Beobachtern: GORDON, THOMSON, MAYER gefunden wurde neuere Angaben von SCHIFFER, hält HOPPE-SEYLER noch für unerwiesen.

Faulendes Blut entwickelt reichlich Ammoniak. S. EXNER hat gezeigt, dass diese Entwickelung durch die Anwesenheit (Durchleiten) von Sauerstoff gesteigert werde.

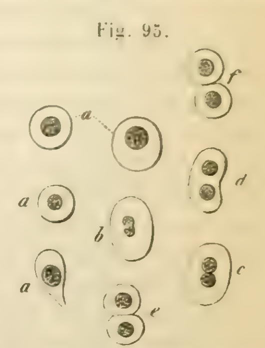
Die Entstehung der rothen Blutkörperchen.

Die allgemeine Quelle der chemischen Stoffe, die das Blut zusammensetzen, sind uns aus unseren bisherigen Betrachtungen schon bekannt, sie stammen aus den Gewebsflüssigkeiten und dem Darminhalte. Die Lymphdrüsen und Follikel, die Milz und das Knochenmark (NEUMANN), vielleicht auch Thymus und Schilddrüse mischen ihm die weissen Blutkörperchen bei.

Woher stammen aber die rothen Blutkörperchen?

Diese Frage kann für den entstehenden Organismus mit ziemlicher Sicherheit beantwortet werden. Kugelige, kernhaltige, körnige Bildungszellen, welche im Innern der anfänglich soliden primären Gefässanlagen an jenen zu Blutinseln oder Blutpunkten werdenden Stellen (cf. Cap. XII) sich befinden und zuerst in Form und Aussehen den übrigen Zellen der Gefässanlage, wie es scheint, vollkommen entsprechen, werden zuerst blasser, dann intensiver gefärbt, verlieren ihre Protoplasmakörnchen, lösen sich unter Bildung von Flüssigkeit — Blutplasma — von einander und sind als erste Blutzellen zu betrachten. Sie sind nun oxyhaemoglobinhaltig, besitzen einen oder mehrere Kerne, die sogar durch Aufhellung ihres Inhaltes noch deutlicher werden. Sie sind kugelig, nicht abgeplattet wie die späteren rothen Blutkörperchen und ziemlich viel grösser. Diese Entwickelungsformen oder embryonalen rothen Blutkörperchen oder Blutzellen vermehren sich anfänglich durch Theilung. Sie werden länglich, oft etwas abgeplattet wie die Blutkörperchen des Frosches, es entstehen im Inhalt zwei oder selbst mehrere Kerne, um die sich die Zellenmembran abschnüren kann (Fig. 95) (REMAK, KÖLLIKER). Im Blut von Amphibienlarven (namentlich leicht bei Salamander) sind die Theilungsvorgänge der Blutkörperchen nachzuweisen (FLEMMING, PEREMESCHKO). Die Haemoglobine werden hier an Ort und Stelle geliefert oder gebildet, über den Bildungsmodus derselben ist bis jetzt nichts sicher erhärtet, nur so viel steht fest, dass die rothen Blutkörperchen, also auch die Haemoglobine, in ihrer Bildung nicht auf ein bestimmtes Organ beschränkt sind. Das Nähere über die embryonale Bildung im Gefässe und in den ersten Blutzellen cf. unten Cap. XII.

Fig. 95.



Blutkörperchen junger Hirschembryonen: bei *a* die meist kugeligen Zellen: *b*—*f* Theilungsprocess derselben.

Mit der Entwickelung der Leber hört nach E. H. WEBER und KÖLLIKER der beschriebene Bildungsmodus der Blutkörperchen auf, dann scheint zunächst die Leber ein Hauptbildungsheerd der Blutkörperchen zu sein. Sie enthält dann zahlreiche »Entwickelungsformen« rother Blutkörperchen, es sind farbige, kernhal-

tige, kugelige Zellen, aus denen in dem späteren Embryoleben die kernlosen, abgeplatteten Blutkörperchen entstehen. Kölliker sah vorher den Kern in vielen Blutzellen klein werden, mit Neigung zu molekulärem Zerfall, endlich schwindet er ganz. Anfänglich machen die biconcaven Blutscheibchen noch die Minderzahl der rothen Körperchen aus. In der vierten Woche des Embryonallebens fehlen sie noch ganz; bei einem dreimonatlichen menschlichen Embryo betrugen sie im Leberblute $^1/_4$, in dem übrigen Blute $^1/_6$—$^1/_8$ der Gesammtmenge der Blutkörperchen. Neumann constatirte die früher von Kölliker, Fahrner und Schenk aufgefundenen Riesenzellen oder Haematocysten in der Leber von Embryonen. Sie erscheinen ihm als Auswüchse der Gefässwandungen, hervorgegangen aus gewucherten Gefässendothelien. Sie enthalten in ihrem contractilen Protoplasma: farblose, kernhaltige Blutkörperchen und kernhaltige, gefärbte, embryonale, rothe Blutzellen. In ihnen scheinen wir einen der Sitze der Blutkörperchenbildung im Embryonalleben erkennen zu müssen. Neumann glaubt, dass die »jungen Blutkörperchen« durch Platzen der Mutterzelle befreit sich dem Blute zumischen.

Im Venenblute der Milz, in der Leber und im Knochenmark finden sich bei Erwachsenen zahlreiche Entwickelungsstufen rother Blutkörperchen mit Kernen. Das Haemoglobin soll nach Funke in den neu entstandenen rothen Körperchen besonders leicht krystallisiren. Bei Leukämie finden sich überall in der Blutbahn neben ziemlich normal gebauten rothen und weissen Blutkörperchen (die letzteren sind ungemein vermehrt und geben dem Blute die weissliche Färbung, welche der Krankheit den Namen gegeben hat — Virchow) eine nicht unbeträchtliche Zahl von embryonalen, farbigen, kernhaltigen Zellen. Erb fand ähnliche Entwickelungsformen im Blute nach künstlichen Blutverlusten, was neuerdings durch Bizzozero und Salvioli bestätigt wurde, welche dann namentlich die Milz wie das Knochenmark reich an solchen Formen fanden; sie zeigen sich auch nach Kölliker im Blut saugender Mäuse. v. Recklinghausen hat im mehrere Tage schon aus der Ader entleerten (Frosch-) Blute aus kleinen, ovalen »Uebergangszellen« unter Zutritt von Luft und Sauerstoff Bildung von rothen Körperchen wahrgenommen.

Untergang der rothen Blutkörperchen. Man hat den Blutkörperchen eine sehr lange Lebensdauer zuschreiben wollen. Es ist sicher erweisbar, dass sich unter Umständen sehr grosse Mengen von Blutkörperchen in kurzer Zeit neu bilden können, z. B. nach starken Blutverlusten, nach denen sich die Blutmenge bald wieder ergänzt zeigt, andererseits scheint in der Milz und Leber, neben der Neubildung, stets ein massenhafter Zerfall von rothen Körperchen stattzufinden. Bei der Besprechung der Gallenwirkung wurde erwähnt, dass die Galle die rothen Blutkörperchen auflöse, die Bildung der Gallenfarbstoffe, die wohl sicher aus dem Blutfarbstoff hervorgehen, spricht direct für eine Blutkörperchenzerstörung, ebenso das unten zu besprechende Verhalten der Leberblutkörperchen. In der Milz ist es die Bildung von pigment- und blutkörperchenhaltigen Zellen, die für einen Untergang der Blutkörperchen spricht. Doch geht der Zerfall wohl überall im Blute vor sich. Auch im Knochenmark behauptet ihn Bizzozero, dem jedoch Neumann widerspricht. Man hat sich bei der Frage nach dem Untergang der rothen Blutkörperchen auch an die Beobachtung zu erinnern, dass sie durch Harnstoff aufgelöst werden, der sich in der Leber und den

Lymphdrüsen dem Blute der Kapillaren an Ort und Stelle wohl in einer genügenden Concentration beimischen wird, um seine Wirksamkeit in der angedeuteten Weise zu entfalten.

Dass die Milz und die Lymphdrüsen in einer gewissen nahen Beziehung zur Blutbildung stehen, geht daraus hervor, dass die oben genannte Blutkrankheit, die Leukämie, mit einer Erkrankung Vergrösserung der Milz und Lymphdrüsen Hand in Hand geht. NEUMANN hat einen solchen Zusammenhang auch für das Knochenmark festgestellt.

Die Blutdrüsen, die Bildungsstätten der rothen Blutkörperchen.

Die Milz. Man hat die Milz eine Blutdrüse genannt und ihr in Gemeinschaft mit den anderen Drüsen ohne Ausführungsgang, denen man dieselbe Bezeichnung gab, eine besondere Betheiligung an dem Blutbildungsprocesse, vornehmlich an der Bildung und Zerstörung der rothen Blutkörperchen, zugeschrieben. Vieles ist hier noch dunkel und um so mehr, da es, wie schon PLINIUS wusste, gelingt, Thiere nach Exstirpation der Milz am Leben zu erhalten, so dass man diese Operation auch für den Menschen vorzuschlagen gewagt hat.

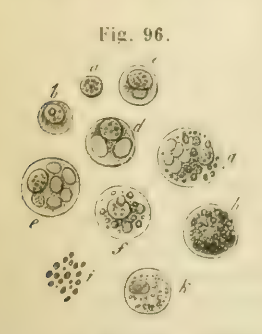
Unstreitig aber ist die Milz unter den Blutdrüsen besonders wichtig. Ihr anatomischer Bau nähert sie den Lymphdrüsen an (LEYDIG). Sie besitzt eine weisse, feste, fibröse Hülle, die von dem Bauchfelle einen serösen Ueberzug erhält. Diese Faserhülle (Tunica fibrosa) sendet Fortsätze in grosser Zahl in das Innere des eigentlichen Milzgewebes ab, die sich sehr mannigfaltig verästeln und unter einander zusammenhängen, so dass ein reiches Maschenwerk gebildet wird, oder vielmehr eine sehr bedeutende Anzahl unter einander communicirender Hohlräume von unregelmässiger Gestalt. Die Faserhülle und die an der Bildung des Maschenwerks betheiligten Balken — Trabeculae lienales — bestehen beim Menschen überwiegend aus Bindegewebe mit elastischen Fasern. Bei einigen Thieren, besonders bei dem Hunde, finden sich darin zahlreich organische Muskelfasern. FREY und MEISSNER fanden sie spärlich auch beim Menschen. In den durch die Balken gebildeten Hohlräumen liegt das eigentliche Milzgewebe: die Milzpulpe, Pulpa lienis. BILLROTH, FREY, KÖLLIKER u. A. haben uns gelehrt, dass diese Milzpulpe ganz ähnlich gebaut sei, wie das Drüsengewebe der Lymphdrüsen (S. 419). Es gelang an erhärteten Präparaten, durch Auspinseln ein feines Netzwerk von unter einander verbundenen, meist kernlosen Fasern darzulegen, welches sich als feinste Verzweigung der immer zarter werdenden Milzbalken zu erkennen gibt. An einzelnen dieser feinsten Fasern lassen sich noch Kerne nachweisen. E. KLEIN behauptet, dass diese kernhaltigen Gebilde nicht Fasern, sondern flachen, kernhaltigen Endothelien ähnlich seien und ein feines bienenwabenartiges communicirendes Fachwerk in der Milz abgrenzen. Innerhalb dieser Fächer sind die Gewebszellen der Milz eingelagert, und zwar sind die ersteren so klein, dass häufig nur eine einzige, ein ander Mal zwei oder drei Zellen in einer solchen Platz finden. Die Blutgefässe, welche die Milz in grosser Anzahl besitzt, theilen das Milzparenchym in ziemlich regelmässige Abschnitte.

Die Zellen des Milzgewebes sind nach KÖLLIKER rundlich, einkernig, zwischen 0,006—0,01 mm in der Grösse schwankend und mit den Zellen der

später zu beschreibenden sog. Milzbläschen übereinstimmend. Neben ihnen finden sich einige grössere blasse zellenartige Gebilde und dann sehr grosse bis zu 0,02 mm entweder blass oder reichlich mit Körnchen gefüllt: Körnchenzellen. Ausser diesen farblosen Zellen kommen in der Milzpulpe auch farbige Blutkörperchen vor, entweder von normaler Gestalt und Farbe oder in allen Stadien des Zerfalles. Sie lagern hierbei sich meist zu mehreren zusammen und bilden dann, wenn sie ganz zerfallen sind, dunkel gefärbte Farbstoff- oder Pigmenthaufen. Hier und da sieht man Pigmentkörnchen in reichlicher Anzahl in Zellen eingeschlossen, so dass diese ganz das Aussehen von Pigmentzellen erhalten können. Kölliker und Ecker zeigten, dass auch zellenähnliche Gebilde, die mit einer Hülle mehrere Blutkörperchen, letztere meist mit den Kennzeichen des Zerfalles umschliessen, in der Milzpulpe vorkommen: blutkörperchenhaltige Zellen. Diese Gebilde haben verschiedene Deutung erfahren (Fig. 96), Freyer und A. Kusnezoff halten sie für amöboide Zellen, die Blutkörperchen eingeschluckt haben (oben S. 118). Der Vorgang sei ein physiologischer. In den Zellen finde der Zerfall der Blutkörperchen und ihre Umwandlung in Pigment statt. Kusnezoff will den Vorgang des Einschluckens vielfach direct beobachtet haben. Wahre Entwickelungsformen, embryonale rothe Blutzellen, lassen sich normal im Blute der Milz erwachsener Menschen und Thiere nicht constatiren, von letzteren nur beim Schwein, dessen Blut in allen Gefässprovinzen kernhaltige rothe Blutzellen enthalten soll (E. Neumann und Freyer); dagegen finden sie sich reichlich im Milzblut der Thiere nach bedeutenderen Blutverlusten (cf. S. 416, 420).

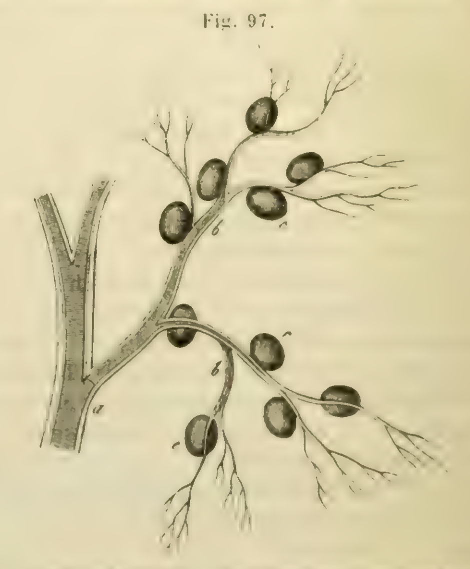
In die rothe Milzpulpe finden sich zahlreiche, weisse, rundliche Körperchen eingelagert: Milzkörperchen, Milzbläschen, Malpighi'sche Bläschen, Corpuscula Malpighii. Sie sind mit unbewaffnetem Auge sichtbar und

Fig. 96.



Zellen aus der Milzpulpa des Menschen, Ochsen und Pferdes. *a*—*d* Vom Menschen. *a* Freier Kern; *b* gewöhnliche Zelle (Lymphkörperchen); *c* gekernte Zelle mit einem Blutkörperchen (?) im Innern; *d* mit zweien; *e* solche mit mehreren Blutkörperchen vom Ochsen; *f* eine Zelle desselben Thieres mit fettartigen Körnchen. *g*—*k* Vom Pferde. *g* Eine Zelle mit mehreren frischen Blutkörperchen und den Körnchen letzterer Figur; *h* Zelle mit einem Körnerhaufen; *i* derselbe frei; *k* Zelle mit farblosen kleinen Molekülen.

Fig. 97.



Aus der Milz des Schweines. Ein Arterienast *a* von der Scheide umhüllt, mit seinen Zweigen *b* und den ansitzenden Malpighi'schen Körperchen.

haben im Durchschnitt eine Grösse von 0.36 mm. Sie stehen in einer nahen Beziehung zu den feinsten Arterienzweigen, an denen sie in grosser Anzahl wie Beeren ansitzen (Fig. 97). Sie stimmen im Bau mit den einfachsten Lymphdrüsen, den Follikeln (GERLACH), überein. Sie besitzen keine sie vollkommen von der Umgebung abtrennende Hülle. Die Fasern des feinen Balkennetzes, in denen sie sich eingelagert finden, verflechten sich nur dichter und inniger an ihrer Oberfläche, doch so, dass noch feine Gewebslücken übrig bleiben. — Die Adventitia, die Bindegewebshaut der Arterien, zieht sich über die an die Arterien gehefteten Milzbläschen fort, so dass diese als eine Verdickung der Adventitia erscheinen, in welche reichlich zellige Elemente eingelagert sind. Die Zellen sind mit denen in anderen elementaren Lymphdrüsen identisch, sie sind rundlich, körnig, meist mit nur einem Kern, eingebettet in eine eiweisshaltige, in der Hitze gerinnende, neutral (?) reagirende Flüssigkeit. Schon geringe deletäre Einwirkungen zerstören die Zellen, so dass dann neben ihnen eine grosse Anzahl freier Kerne sich findet, die in den lebenden Bläschen fehlen. In den Bläschen findet sich auch wie in den Follikeln der Lymphdrüsen ein zartes Kapillarnetz.

Die Blutgefässe bilden einen Haupttheil der Milzpulpe. Die Arterien verzweigen sich sehr fein, bekommen die beschriebenen beerenförmigen Anhänge der Milzbläschen und lösen sich endlich in Büschel feinster Aestchen, die sogenannten Penicilli, auf, welche dann in eigentliche Kapillaren übergehen. Die Venen sind weit und bilden mit ihren feinsten Zweigen ein reiches, kavernöses Netz. Die Arterienkapillaren gehen in diese weiteren Venenkapillaren nach Einigen überall direct über (BILLROTH, KÖLLIKER u. A.). Man nahm früher an, und auch neuerdings wird das Gleiche wieder gelehrt (W. MÜLLER, E. KLEIN), dass die Blutgefässe ganz analog in offener Verbindung mit dem zellenhaltigen Milzgewebe stünden, wie die Lymphgefässe mit dem Lymphdrüsengewebe, so dass das aus den Arterien zugeführte Blut durch das Fachwerk des Milzgewebes sickern müsse, um sich dann in den Venen mit den Zellen der Milz — weissen Blutkörperchen — beladen wieder zu sammeln, ähnlich wie bei den Lymphdrüsen der Inhalt der Vasa afferentia in die Vasa efferentia hinein gelangt.

Die Lymphgefässe der Milz unterscheidet man in oberflächliche und tiefe (TOMSA und KYBER). Erstere senden von einem dichten Plexus in der Kapsel aus Stämme in die Trabekeln, um mit den tiefen, die mit den Arterien eindringen, zu anastomosiren. — Die Nerven, welche die Milz in reicher Anzahl erhält, zeichnen sich durch ihren Reichthum an marklosen (REMAK'schen) Fasern aus. Sie verlaufen mit den Arterien. W. MÜLLER und SCHWEIGGER-SEIDEL beschreiben ellipsoidische Körper mit einem centralen Kapillargefäss als Nervenendorgane.

Nach W. MÜLLER zeigen die Milzkapillaren in der Regel den Bau ausgebildeter Kapillargefässe, bisweilen sind sie von unverschmolzenen protoplasmareichen Zellen aufgebaut (SCHWEIGGER-SEIDEL's Uebergangsgefässe). Endlich wird ihre Kontinuität unterbrochen, indem die homogene Wandung in schmale, den Zellen anliegende Streifen sich sondert und in das Zellennetz der Pulpa übergeht. Durch diese Lücken ströme das Blut in die von den Zellen- und Fasernetzen der Pulpa umfriedigten Hohlräume, die intermediären Blutbahnen. Aus

letzteren sammle sich das Blut in den Venenanfängen, die als siebformig durchbrochene, lediglich von lymphkörperchenartigen Zellen begrenzte Hohlräume beginnen sollen.

Die Blutkörperchen des Milzvenenblutes. Im Milzvenenblute hat zuerst FUNKE jene z. Thl. schon besprochenen Modificationen der Eigenschaften der rothen Blutkörperchen entdeckt, welche er als einen Beweis für die Anschauung betrachtete, dass in der Milz nicht nur eine grosse Anzahl rother Blutkörperchen zu Grunde gehen, sondern dass auch beim Erwachsenen die Milz ein Herd der Neubildung rother Blutkörperchen sei. Er glaubte einen Uebergang farbloser Zellen in gefärbte annehmen zu müssen. Sicher ist es, dass im Milzvenenblute eine sehr viel grössere relative Menge von weissen Blutkörperchen vorkommt, als in anderen Blutarten. HIRT fand hier auf 70 rothe 1 farbloses Blutkörperchen. Die rothen Blutkörperchen selbst sind kleiner, weniger abgeplattet, durch Wasser weniger leicht zerstörbar als andere Blutzellen, auch sollen sie keine »Geldrollen« bilden. Nach FUNKE's Ansicht deuten diese Eigenschaften darauf, dass diese eigenthümlichen Blutkörperchen des Milzvenenblutes sich noch im Jugendzustande befinden. FUNKE hat zuerst in der Milzpulpe auch erwachsener Individuen zahlreiche Entwickelungsstufen rother Blutkörperchen, wie er sich ausdrückte: Uebergangsstufen von weissen in rothe Blutkörperchen, nachweisen können. Dann fand KÖLLIKER hier bei neugeborenen und säugenden Thieren kleine kernhaltige, gelbliche Zellen, die der Farbe nach von rothen Blutzellen kaum zu unterscheiden sind, und die er unbedingt für sich entwickelnde Blutzellen ansprach. E. NEUMANN's und FREYER's Angaben cf. S. 418.

Die chemische Zusammensetzung des Milzgewebes. — In dem Gewebe der Milz geht ein sehr energischer Stoffwechsel vor sich, wie die grosse Menge von Zersetzungsprodukten der primären Körperbestandtheile, die sich in ihr finden, beweist. Von N-losen finden sich: **Inosit**, Milchsäure, Bernsteinsäure, flüchtige Fettsäuren; von N-haltigen: **Harnsäure**, **Harnstoff**, Sarkin, Leucin, Tyrosin. Auffallend ist der hohe Eisengehalt der Milzasche, der weit grösser ist, als dass er aus einem restirenden Blutgehalte abgeleitet werden könnte. NASSE d. A. fand ihn zu 5% der trockenen Milzpulpe. Namentlich in der Milz alter Pferde fand er reichlich aus Eisenoxyd bestehende gelbliche Körnchen, welche mit schwacher Salzsäure und Blutlaugensalz sich blau färben. Daneben findet sich auch sehr viel Natron und wenig Kali. Die chemische Zusammensetzung der Milz eines Mannes fand OIDTMANN in 100 Theilen:

Wasser	75,03
feste Stoffe	24,97
davon organische . .	24,23
- unorganische .	0,74

In 100 Theilen enthielt die Asche: Kali 9,60, Natron 44,33, Magnesia 0,49, Kalk 7,48, Eisenoxyd 7,28, Chlor 0,54, Phosphorsäure 27,10, Schwefelsäure 2,54, Manganoxydul 0,08.

Das Eisenoxyd ist vielleicht z. Th. in Verbindung mit Phosphorsäure in der Milzflüssigkeit; doch gewinnt man es verbunden mit einem Eiweisskörper durch Fällung des kalten, wässerigen Milzauszuges mit Essigsäure. Dieser Eisengehalt hat insofern eine hohere Bedeutung, als er vielleicht mit der Bildung des Haemoglobins für die hier neu entstehenden rothen Körperchen zusammenhängt (S. 396). Andererseits ist es denkbar, dass der Eisengehalt aus einer Zersetzung der Haemoglobine hervorgeht, da es ja sicher ist, dass viele rothe Blutkörperchen in der Milz zu Grunde gehen. Die aus den zerstörten Blutkorperchen entstehenden Farbstoffablagerungen, die Pigmente der Milz, sind eisenhaltig.

Die Grösse der Milz ist schwankend nach den verschiedenen Korperzuständen des Indivi-

duums. Innerhalb der Breite physiologischer Verhaltnisse ist das Milzvolum am kleinsten während der Verdauung, wenn alle Verdauungsdrüsen zur Steigerung oder Hervorrufung ihrer Absonderungen eine vermehrte Blutzufuhr erfordern. Sobald sich nach der Verdauung die Blutgefässe der Eingeweide wieder verengern, beginnt die Milz sich zu vergrossern. Auch das Gewicht der ausgebluteten Drüse nimmt dann zu, GRAY und SCHROENFELD fanden es 5—15 Stunden nach der Nahrungsaufnahme am bedeutendsten. Dann sollen auch die mit farblosen Zellen gefüllten Milzbläschen am grössten und am prallsten gefüllt sein. Man darf hier an eine Verwendung des reichlicheren Nahrungsstoffes, welcher in dem Blute sich findet, das der Milz zu der angegebenen Zeit zuströmt, zu einer gesteigerten Neubildung von weissen und rothen Blutzellen und Zellen der Milzbläschen denken. Bei Hungernden, längere Zeit schlecht genährten oder kranken Individuen zeigen sich die Milzbläschen viel weniger deutlich, als nach reichlicher, nahrhafter Kost.

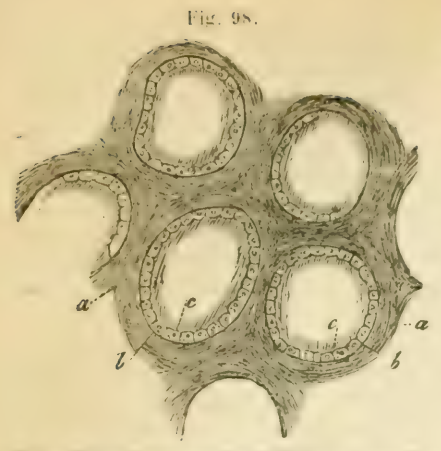
Milzblut. — Ueber den chemischen Stoffverkehr zwischen Milz und Blut ist noch Weniges bekannt. Das Milzvenenblut soll einen höheren Fibringehalt als das Blut der Milzarterie zeigen. Der höhere Wassergehalt des Milzvenenblutes lässt eine Abgabe fester Stoffe an die Milz vermuthen und deutet vielleicht auf die Zerstörung von Blutkörperchen und Ablagerung ihrer Reste im Milzgewebe. Während der Verdauung, wenn so viele absondernde Drüsen dem Gesammtblute Sauerstoff in gesteigertem Maasse entziehen, findet sich auch der Sauerstoffgehalt des Milzvenenblutes kleiner als im nüchternen Zustand (ESTAR und SAINPIERRE). Die Beobachtungen H. RANKE's setzen die Harnsäurebildung mit der Milz in Beziehung. Bei Leukämie mit Vergrösserung der Milz ist die Harnsäureausscheidung im Harn gesteigert. Mittel, welche die Milz abschwellen machen (Chinin), setzen auch die Harnsäuremenge im Harn herab. Es zeigen sich tägliche Schwankungen der Harnsäureausscheidung, welche mit den Verdauungsperioden, die auf die Milz von so entschiedenem Einfluss sind, zusammenfallen. Die Harnsäureausscheidung ist am stärksten in der Zeit nach der Nahrungsaufnahme. Nach Verdauungsstörungen sah LEHMANN mehr Harnsäure im Harn erscheinen. Das zusammengehalten mit der Beobachtung SCHERER's, dass im Milzsafte sich Harnsäure finde, macht es wahrscheinlich, dass wir in der Milz eine Stätte der Harnsäurebildung für den Menschen annehmen müssen. Auch Harnstoff wird in der Milz gebildet.

Zur Entwickelungsgeschichte. — Bei allen Wirbelthieren bildet sich die Milz aus einem (verschieden gelagerten) Abschnitt des Peritoneums. Bei dem Menschen entwickelt sie sich im zweiten Monat (KÖLLIKER) im Magengekröse, dicht am Magen, aus einer Anlage, die dem mittleren Keimblatt (den Mittelplatten) angehört, aus kleinen Zellen. Nach KÖLLIKER treten die MALPIGHI'schen Körperchen erst am Ende der Fötalperiode auf, nach W. MÜLLER sind sie schon von der Mitte des Embryonallebens an erkennbar. Nach demselben Autor beginnt die Verdickung des Peritoneums durch Vermehrung der Bildungszellen für die Milzentwickelung schon in derselben Zeit, in welcher das Pankreas die ersten Sprossen aus seiner Anlage hervortreibt. GÖTTE findet beim Hühnchen die erste Anlage der Milz mit derjenigen des Pankreas zusammenhängen.

Zur vergleichenden Anatomie. — Eine Milz scheint nicht allen Wirbelthieren zuzukommen, bei Amphioxus und Myxinoiden ist sie nicht nachgewiesen. Sie lagert stets in der Nachbarschaft des Magens, meist am Cardiatheile desselben. Sie erscheint entweder länglich oder rund, von dunkelrother Farbe, hier und da kommen kleinere Nebenmilzen vor, bei manchen Selachiern zerfällt die Milz in eine Anzahl kleinerer Läppchen. Im Allgemeinen ist der Bau des Organes sehr übereinstimmend (LEYDIG, GEGENBAUR u. A.), und zeigt nur in Beziehung auf die MALPIGHI'schen Lymphfollikel bedeutendere Abweichungen. Bei den Schlangen und Eidechsen sind dieselben kugelige lymphzellenhaltige Follikel, nicht mit der Arterienscheide verbunden, sondern von dem Balkengerüste der Milz umschlossen. Hier haben wir also noch mehr in die Augen springend eine Zusammensetzung der Milz aus weissgrauer (Lymphdrüsen- und rother (Milz-) Pulpa. Bei der Ringelnatter kann zeitweilig die rothe Pulpa ganz fehlen, so dass dann die Milz einer gewöhnlichen Lymphdrüse entspricht. Der Zusammenhang der Milz mit

den Lymphdrüsen wird noch durch die weitere Beobachtung Leydig's illustrirt, dass es auch andere Lymphdrüsen gibt, welche theilweise oder ganz rothe Pulpa besitzen, wobei sie dann ein dunkelrothes Aussehen, wie die Milz, zeigen. Solche Lymphdrüsen, in Bau und Ansehen der Milz analog, finden sich z. B. in der Brusthöhle des Schweines nach dem Verlauf der Aorta thoracica liegend.

Fig. 98.



Einige Drüsenblasen aus der Schilddrüse eines Kindes, 250mal vergr. *a* Bindegewebe zwischen denselben. *b* Hülle der Drüsenblasen. *c* Epithel derselben.

Die Schilddrüse (Thyreoidea).

Alveolen, 0,04—0,01 mm gross, sind ihre Drüsenelemente. Letztere werden durch Bindegewebe zu grösseren Drüsenkörnern, diese zu Läppchen und Lappen vereinigt. Die Drüsenalveolen sind mit einer einzigen Schicht Epithel von vieleckigen, körnigen Zellen austapezirt. Der Hohlraum des Bläschens wird durch eine in der Jugend klebrige, im Alter »colloide« Flüssigkeit erfüllt, die klar und etwas gelblich gefärbt ist und Eiweiss in ziemlicher Menge enthält (Fig. 98). Nach P. A. Boéchat sind die Alveolen nicht geschlossene rundliche Blasen, wie man sie bisher beschrieb, sondern unregelmässige, reichlich untereinander communicirende Höhlungen. Im Innern des bindegewebigen Stromas der Schilddrüse bilden lymphatische Sinus ein weites cavernöses Netz. In den Interstitien dieses Netzes verlaufen die Blutgefässe und liegen die Alveolen, indem ihre epithelialen Wände den Wandungen der Lymphräume direct aufsitzen. Boéchat leugnet eine Membrana propria der Alveolen. Nach Frey beginnen in der Schilddrüse die Lymphgefässe mit blinden Kanälchen zwischen den Drüsenbläschen. Die Schilddrüse zeigt besonders im späteren Leben fast regelmässig pathologische Veränderungen (Kropf), aus denen hervorgeht, dass sie wenigstens dann für das Leben nur von geringer Bedeutung sein kann. Die »colloide« Substanz der Alveolen bildet sich nicht auf Kosten der Epithelzellen (R. Virchow), die sich hierbei meist noch unversehrt nachweisen lassen. In der **Thyreoidea** des Ochsen fand sich Leucin, Sarkin, Xanthin, flüchtige Fettsäuren, Milchsäure, Bernsteinsäure (cf. Circulationsverhältnisse des Gehirns).

Fig. 99.



Ein Stückchen der Thymus des Kalbes entfaltet. *a* Hauptcanal, *b* Drüsenläppchen, *c* Drüsenkörner vereinzelt am Hauptcanale aufsitzend. Nat. Grösse.

Zur Entwickelungsgeschichte und vergleichenden Anatomie. — Die Schilddrüse bildet sich beim Hühnchen (Remak, W. Müller, Götte) aus einer einfachen, sackförmigen Ausstülpung der Schlundwand (3ter Brüttag), welche sich in eine Blase verwandelt und sodann solid wird, sich am 5ten Tage einschnürt, hierauf in zwei solide kugelige Körper zerfällt und durch Herabrücken endlich ihre bleibende Stelle einnimmt. Die Follikel entstehen durch Abschnürung aus cylindrischen Schläuchen, welche bis zum 3ten Brüttag die Drüsenelemente darstellen. Die Bildung ist im Wesentlichen dieselbe, wie die der Blasen der traubenförmigen Drüsen. Analog ist die Entwickelung bei Säugern (Kölliker). Bei dem Menschen er-

scheint die fertige Schilddrüse aus einem mittleren und zwei seitlichen Lappen zusammengesetzt. Bei Hund, Kalb, Pferd etc. besteht die Drüse aus zwei getrennten Lappen zur Seite der Trachea liegend. Bei Fischen liegt das Organ am vorderen Ende des Kiemenarterienstammes. Bei Amphibien und Vögeln ist es paarig, bei Reptilien einfach.

Die Thymus (Fig. 99). Sie besteht aus Lappen und Läppchen, die kleineren Läppchen werden noch in kleinste Läppchen getrennt, welche aber von den analogen Endbläschen der traubenförmigen Drüsen sich wesentlich unterscheiden: sie sind nicht hohl, sondern solid. Nur die grösseren Läppchen haben meist einen spaltförmigen Hohlraum. Die Endläppchen scheinen im Bau identisch mit den Follikeln des Darms, also wie diese einfachste Lymphdrüsen. Innerhalb einer bindegewebigen Hülle finden sich in ein Netz von Bindegewebskörperchen jene runden, körnigen, kernhaltigen Zellen eingelagert, die wir von dort her kennen. Ausserdem zeigen sich noch grössere grob granulirte, rundliche, ein- oder mehrkernige Zellengebilde und concentrische blasenartige Gebilde (Hassall). Zwischen diesen Zellen verbreiten sich Blutgefässe. In die Läppchen lassen sich die Lymphgefässe verfolgen. Für den erwachsenen Organismus hat die Thymus keine Bedeutung mehr, da sie von der Geburt an stetig abnimmt und endlich ganz verschwindet.

Der lymphdrüsenähnliche Bau der beiden letztbesprochenen Organe rechtfertigt es, sie mit der Milz in eine Klasse zu stellen, wenn wir es auch nur vermuthen können, dass zur Zeit ihrer Functionirung ihre Thätigkeit mit der der Milz übereinstimmt. Ihre Aehnlichkeit mit der Milz wird noch dadurch erhöht, dass sich auch ziemlich dieselbe Gruppe von chemischen Zersetzungsprodukten und, wie es scheint, in ähnlich reicher Menge in beiden vorfindet. Neben den gewöhnlichen Gewebsbildnern: Albumin, Fetten etc. finden sich in der Thymus (Gorup-Besanez) Leucin, Sarkin, Xanthin, Ameisensäure, Essigsäure, Bernsteinsäure, Milchsäure, Zucker (?) und neben den gewöhnlichen Aschenbestandtheilen thierischer Organe noch Ammoniaksalze. Kölliker vermuthet, dass die Thymus ein »epitheliales Organ« sei.

Zur Entwickelungsgeschichte. — Die Thymus scheint aus dem mittleren Keimblatt zu entstehen. Bischoff beschrieb bei 2,6 cm langen Rindsembryonen ihre Anlage als zwei zarte, dicht neben einander vor der Luftröhre gelegene Streifen, die am Kehlkopf mit der Schilddrüse zusammenzuhängen schienen. Kölliker erklärt die Thymusanlage des Kaninchens als eine in einen Schlauch umgewandelte Kiemenspalte.

Die Bedeutung der **Nebennieren**, des **Gehirnanhangs**, der **Steissdrüse** ist noch unbekannt. A. von Brunn stellt die Nebennieren als venöse Blutgefässdrüsen neben die Carotidendrüse und Steissdrüse als arterielle Blutgefässdrüsen, cf. die Lehrbücher der Anatomie.

Das Knochenmark. Das rothe Knochenmark hat als eine Bildungsstätte der rothen Blutkörperchen durch die Beobachtungen von E. Neumann, welche Bizzozero bestätigte, neuerdings eine bisher ungeahnte, wichtige physiologische Function zuertheilt bekommen. Der Marksaft enthält zahlreiche kernhaltige gefärbte Blutzellen, welche mit den Blutzellen des Embryo identisch sind. Der Marksaft entstammt theils dem eigentlichen Gewebe des rothen Knochenmarks, theils den Blutgefässen desselben. Er enthält reichlich zellige Elemente, theils gewöhnliche Lymphkörperchen, theils Zellen, die sich von den ersteren besonders durch eine deutlich gelbe Färbung auszeichnen: unreife rothe Zellen. Sie zeigen schon frisch die Kerne, ihre Umrisse sind im Gegensatz zu den Lymphkörperchen scharf contourirt, die Zellsubstanz erscheint homogen. Sie sind kugelig und wenig grösser als rothe Blutkörperchen. Eine geschlossene Kette von Uebergangsformen verbindet diese gelben Zellen mit den ausgebildeten rothen Blutkörperchen. Diese Entwickelungsformen constatiren, dass von der Peripherie (Neumann) oder dem

Kerne aus BIZZOZERO eine Verwandlung des körnigen Protoplasma in die homogene gelbe Substanz stattfindet. Diese Entwickelungsformen entsprechen den embryonalen Entwickelungsstufen der rothen Blutkörperchen, welche sich bei Embryonen ebenfalls im Knochenmarke, sowie in Milz und Leber in bedeutender Anzahl zeigen. Die Entwickelungsformen befinden sich in den Kapillaren des Knochenmarkes, in denen durch die anatomisch-physikalische Einrichtung die Blutbewegung eine relativ langsame sein muss. Wie die Zellen aus dem Mark in die Kapillaren gelangen, ist noch nicht beobachtet. Seitdem wir durch COHNHEIM wissen, dass die weissen Blutkörperchen aus den Gefässen auswandern können, steht der Annahme, dass Zellen auch von aussen in dieselben einzudringen vermögen (cf. unten), nichts im Wege. Die aktive Beweglichkeit der betreffenden Zellen im Knochenmark ist sowohl für Kalt- als Warmblüter nachgewiesen.

CH. ROBIN erklärte sich gegen die von NEUMANN und BIZZOZERO angenommene Funktion des Knochenmarkes; RANVIER und MORAT erklären sich gegen einen Uebergang weisser Blutkörperchen in rothe im Knochenmark, wie er von den Entdeckern der hier vorkommenden Entwickelungsformen der letzteren zuerst hypothetisch angenommen wurde.

In dem Knochenmark jeder Altersstufe kommen noch einzelne, grosse (bis 0,3 mm), hüllenlose Zellengebilde vor, von oft bizarrer Form und mit 30—40 Kernen: Myeloplaxen, vielkernige Riesenzellen (cf. unten bei Knochen).

Das gelbe Mark der Röhrenknochen verdankt seine Farbe den Fettzellen, es besteht nach BERZELIUS bis zu 96% aus Neutralfetten. Das rothe Mark findet sich in den Epiphysen, in den platten und kurzen Knochen. In einem spärlichen Gerüste von Bindegewebe sind die zelligen Elemente, die Lymphkörperchen, eingelagert.

Die kapillaren Blutgefässe in dem Knochenmark beschrieb NEUMANN zuerst ähnlich wie BILLROTH die der Milz. Die feinsten Arterien sollten sich, indem sie zu Kapillaren werden, trichterförmig erweitern, und dann die Venen aus diesen weiten Kapillaren durch allmälig noch fortschreitende Erweiterung hervorgehen. Die Kapillaren zeigen seitliche blinde Sprossen, die an die ersten Anlagen neu sich bildender Gefässe erinnern. In neueren Angaben, die sich auf das Verhalten des Knochenmarkes bei einem sehr ausgesprochenen Fall von Leukämie (myelogene Leukämie) beziehen, beschreibt NEUMANN die Wand der feinsten Arterien des Markes aus lose zusammengefügten, langen, schmalen Spindelzellen gebildet. Es fanden sich nur arterielle Gefässe in der auffallend gefässarmen Substanz; das einströmende Blut ergiesst sich von den Arterienästen aus direct in die zellenreiche Pulpa und vertheilt sich in derselben in regellosen Bahnen, um schliesslich mit reichlichen Bestandtheilen aus ihr gemischt in die venösen Abfuhrcanäle überzutreten. So sollen die unreifen, rothen Zellen in die Blutbahn gelangen, also ganz analog wie bei der Milz (cf. S. 420). RUSTIZKY hält an der älteren Anschauung fest. Zu bemerken ist noch, dass die Blutgefässe (Kapillaren und Venen) des Knochenmarkes der Sommerfrösche nach BIZZOZERO auf lange Strecken ganz mit weissen Körperchen angefüllt sind, auch die Markkapillaren junger Kaninchen zeigen sich an weissen Blutkörperchen auffallend reich.

SALKOWSKI hat Hypoxanthin und Ameisensäure, RUSTIZKY Mucin aus dem Markgewebe dargestellt. Nach BERZELIUS enthält das rothe Markgewebe in der Diploe 75,5% Wasser, also 24,5% feste Stoffe mit Proteinstoffen und Salzen, aber nur Spuren von Fett.

Diapedesis, Austritt von Blutkörperchen aus den unverletzten Gefässwandungen. — Hier, wo von Entstehung und Untergang der Blutkörperchen die Rede ist, mögen die Beobachtungen COHNHEIM's ihre Stelle finden, welche uns lehren, dass sowohl rothe als farblose Blutkörperchen, zunächst wenigstens unter krankhaften oder abnormen Verhältnissen aus den Blutgefässen, indem sie die Wand derselben durchsetzen, auswandern können. Steigerte COHNHEIM durch Abschluss der venösen Blutbewegung den Druck sehr

bedeutend, so sah er zunächst das Plasma, dann aber auch die zusammengedrückten Blutkörperchen, wie eine halb- flüssige Masse ausgepresst werden und dann ihre Gestalt wieder annehmen. Bei Entzündungsprocessen verlassen die weissen Blutkörperchen die erweiterten Gefässe, in deren Randschicht des Blutes sie sich angehäuft, unter amöboiden Bewegungen die Wand durchsetzend. Frei erscheinen sie dann als Eiterkörperchen. Ueber den weissen sollen auch einige rothe die Gefässwand verlassen (STRICKER), was man durch Einwirkung von Salzlösungen auf nackte Gefässe in reichlicherem Maasse erzeugen kann (PROSSAK). HERING denkt bei der Auswanderung der weissen Körperchen an Filtrationsvorgänge. Es gelang aber, grössere vorgebildete Oeffnungen: Stomata in der Wandung der Gefässe nachzuweisen; hier ist auch an die Wandungen der Milz- und Markgefässe zu erinnern, die aus lose an einander liegenden Zellen gebildet sein sollen (cf. oben). Die weissen und rothen Blutkörperchen treten an der Stelle dieser Stomata aus der Gefässwand (J. ARNOLD), cf. weisse Blutkörperchen (S. 375).

Die Gesammtblutmenge.

Die Gesammtblutmenge beträgt nach den Bestimmungen von BISCHOFF nach der WELCKER'schen Methode (S. 344) bei gesunden lebenden erwachsenen Männern (Hingerichteten) $^1/_{13} = 7{,}7\%$ des Gesammtkörpergewichts. Man pflegt hierbei gewöhnlich auch die Bestimmungen WELCKER's über den Blutgehalt des neugeborenen Menschen anzuführen, obwohl diese an todten Individuen angestellt wurden, sie ergaben nur $^1/_{19} = 5{,}2\%$ des Körpergewichts.

Ueber die Veränderung der Blutmengen bei Menschen je nach dem verschiedenen physiologischen oder pathologischen Körperzustande, die für den Arzt von der allereinschneidendsten Bedeutung sein würde, sind noch wenig Untersuchungen angestellt worden. Ueber den letzteren Punkt hatten wir bisher kaum Weiteres als die Beobachtungen extremer Fälle von Seiten der Aerzte, welche gewisse Kennzeichen der Plethora und Anämie aufgestellt haben. Versuche an Thieren haben mir u. A. ergeben, dass jüngere, kleinere Thiere derselben Thierspecies wie einen relativ grösseren Stoffwechsel, so auch eine relativ grössere Blutmenge als ausgewachsene besitzen. Im Allgemeinen nimmt die Blutmenge, und damit der Stoffwechsel, von dem Jugendzustande an, d. h. mit steigendem Körpergewichte relativ ab. Dass aber dieser Abnahme nach der Geburt zunächst eine Zunahme der Gesammtblutmenge voraus gehe, scheint nach den citirten Beobachtungen WELCKER's für die Neugeborenen, welche weniger Blut als Erwachsene haben, wahrscheinlich. Auch PANUM fand öfters die relative Blutmenge neugeborener Hunde geringer als die erwachsener (cf. S. 413), ebenso STEINBERG auch bei Katzen.

Sehr fette, gemästete Individuen haben eine relativ geringe Blutmenge (J. RANKE). Die Blutmenge sowie der Stoffwechsel solcher Individuen und damit ihr Nahrungsbedürfniss zeigen sich absolut geringer, als bei nicht gemästeten von sonst ähnlicher Körperkonstitution. Da bei dem weiblichen Geschlechte der Fettansatz meist ein bedeutenderer ist, als bei dem männlichen, so wird dem entsprechend im Allgemeinen bei dem weiblichen Geschlechte die Blutmenge geringer sein, als bei dem männlichen.

Gewisse Einflüsse setzen die Blutmenge herab. Ich konnte eine primäre Verminderung der Blutmenge durch starke Muskelleistung nachweisen, manche Krankheiten haben gewiss einen analogen Erfolg. Man muss sich hierbei erinnern, dass eine Verminderung der Blutmenge auch in der Art eintreten kann,

dass die Blutkörperchen, das Haemoglobin (S. 413) oder im Allgemeinen die festen Stoffe im Blute abnehmen, die Gesammtquantität des flüssigen Blutes könnte dabei gleich bleiben. Alle Körperzustände, welche den Körper fleischreicher machen, vermehren wahrscheinlich seinen Blutgehalt; Fleischnahrung scheint nach den Beobachtungen über Ernährung (Voit) auch die Menge der Blutkörperchen des Blutes zu vermehren. Muskulöse Thiere haben relativ mehr Haemoglobin im Blute als fettere, weniger muskelkräftige. An den krankhaften Veränderungen in der Zusammensetzung der Gewebe nimmt auch das Blut Antheil; nach den Beobachtungen von Schottin und J. Ranke steht der Wassergehalt des Blutes in einem directen Verhältniss zum Wassergehalt der Gewebe, je wasserhaltiger letztere, desto wässeriger dieses. Krankheiten, Marasmus machen das Blut und die Gewebe wässeriger, so dass sie dadurch indirect die Blutmenge vermindern.

Nach grösseren Blutverlusten stellt sich die Blutmenge sehr rasch wieder her, indem zunächst unter dem verminderten Blutdruck die Absonderung der Sekrete, Galle, Harn (J. Ranke u. A.) stillsteht resp. abnimmt, und das Blut mehr Flüssigkeit aus den Gewebssäften aufnimmt. Durch Blutverluste wird auch der Durst gesteigert, der auch eine vermehrte Flüssigkeitsmenge dem Blute zuzuführen nöthigt. Vielleicht hängt der Durst nach sehr anstrengenden Allgemeinkrämpfen auch wenigstens zum Theil mit der durch diese nachgewiesenermassen gesetzten Verminderung der Blutmenge zusammen. Nach Panum nimmt bei fortgesetztem Hunger die Blutmenge etwa in demselben Verhältniss ab, wie das Gesammtkörpergewicht.

Verfährt man sonst ganz nach der Welcker'schen Methode der Bestimmung der Blutmenge, verwendet aber an Stelle des Wassers »künstliches Serum«, so bleiben die Blutkörperchen erhalten und man kann in der rothgefärbten Waschflüssigkeit eine Zählung der rothen Blutkörperchen vornehmen, wodurch man die Gesammtzahl der in dem zur Bestimmung verwendeten thierischen Organismus enthalten gewesenen rothen Blutkörperchen erhält (L. Malassez S. 392).

Der Zusammenhang zwischen Fettansatz und Blutarmuth ist lange bekannt. In manchen Gegenden werden den zu mästenden Rindern Aderlässe gemacht, Tolmatscheff sah Hunde bei wiederholten Blutentziehungen Fett ansetzen, Chlorotische neigen zu Fettansatz etc.

Da der Erwachsene $1/13$ seines Körpergewichts an Blut enthält, so beträgt die Blutmenge bei 65 Kilogramm Körpergewicht 5 Kilogramm.

Die Relation des Körpergewichts zur Blutmenge bei Kaninchen ergibt folgende Tabelle nach meinen Untersuchungen:

Kaninchen, Reingewicht unter	300 Grm.	Blutmenge	18.9 Grm.	7,4%	1 : 13,5
- - -	700 -	-	34,3 -	6,0 -	1 : 16,6
- magere Thiere bis	1300 -	-	69,72 -	5,5 -	1 : 18,0
- fette - über	1400 -	-	48,18 -	3,3 -	1 : 30,0.

Die Blutverminderung bei stärkerem Fettansatz ist ganz enorm und, wie man sieht, auch eine absolute, hier von etwa 70 Gramm auf 48, d. h. um mehr als 30%.

Für den Arzt bringt die Erkenntniss des geringen Blutgehaltes fetter Organismen eine Erklärung für die mannigfachen Erfahrungen, dass fettreiche Körper eine geringere Energie ihrer Organthätigkeiten und Widerstandskraft gegen störende Einflüsse entwickeln. Er wird mit dem Blute solcher Patienten, wie es ihm die praktische Beobachtung schon bis-

her vorschrieb, möglichst sparsam sein, er wird daran denken, auch in Krankheiten durch Eiweisskost ihre Blutmenge und damit die Energie ihrer Körperfunctionen zu steigern.

Wir erinnern hier noch einmal daran, dass nach unseren Beobachtungen die Grösse des Stoffwechsels in einem Verhältnisse zur Blutmenge steht. Was in dieser Beziehung im Allgemeinen gilt, gilt auch für jedes einzelne Körperorgan (cf. Blutvertheilung).

Mittelwerthe, die wir in Uebereinstimmung mit anderen Forschern über den Blutgehalt verschiedener Thiere gefunden haben, sind folgende

Hunde	6,7 %	d. h.	1 : 14,7
Frösche	6,5 -	-	1 : 15,6
Meerschweinchen . . .	5,8 -	-	1 : 17,1
Kaninchen	5,4 -	-	1 : 18,0
Katzen	4,7 -	-	1 : 21,4.

Durch fortgesetzte, übermässig gesteigerte Muskelaktion (Tetanus) wird die Gesammtblutmenge nach unseren Versuchen bei Fröschen primär um 26 % vermindert. Dagegen erweisen vergleichende Beobachtungen an Organismen, die von ihrer Muskulatur in der Zeiteinheit verschieden starke Leistungen verlangen, den weiteren Satz: Gewöhnung an gesteigerte Muskelarbeit, mit der sich der Organismus ins Gleichgewicht der Ernährung zu setzen vermochte, steigert die Gesammtblutmenge, langandauernde Muskelruhe setzt dagegen die Gesammtblutmenge herab.

Das Blut von Fleischfressern (Hunden) ist im Ganzen und auch an Haemoglobin concentrirter, als das von Nagethieren (Kaninchen).

Langdauernde Ernährungsstörungen (Hunger) vermindern die festen Blutstoffe um die Hälfte. Fieber scheint, wie es vom Tetanus erwiesen ist (J. Ranke), die festen Blutstoffe zunächst zu vermehren, im späteren Verlauf (bei eintretender Consumption) zu vermindern.— Gscheidlen und Spiegelberg wollen bei Hunden für die zweite Hälfte der Schwangerschaft eine Vermehrung der Blutmenge von $1/_{12,7}$ des Körpergewichts zu $1/_{11,1}$ gefunden haben, anfänglich soll nach ihnen die Schwangerschaft die relative Blutmenge nicht (?) verändern.

Die Blutvertheilung.

Je nach der Anzahl und der Weite der Blutgefässe, welche in die Organe eintreten und sich in derselben zu Kapillaren auflösen, ist der Blutgehalt der verschiedenen Organe des animalen Organismus ein sehr verschiedener. Dazu kommt noch, dass die Blutmenge, welche ein Körpertheil in der Zeiteinheit erhält, ausserdem noch von der Stromgeschwindigkeit in den Blutgefässen abhängt. Die Weite der Gefässe und die Blutgeschwindigkeit wechseln nun aber unter dem Einfluss des Nervensystems, den wir unten besprechen werden. Weiter ist die Blutgeschwindigkeit noch abhängig von der Entfernung der betreffenden Gefässpartie vom Herzen, von den physikalischen Momenten der Stromverzweigung etc. Namentlich unter dem Einfluss der wechselnden Innervation der Gefässe wird die Blutvertheilung im Organismus eine sehr schwankende.

Dadurch, dass man bei todten, gefrorenen Thieren die Organe ohne Blutverluste abtrennt und ihren Blutgehalt bestimmt (nach der Welcker'schen Methode S. 431), kann man die Blutvertheilung im todten Thiere untersuchen. Indem man in einzelnen Gliedern und Organen durch gleichzeitige Unterbindung der zu- und abführenden Gefässe das Blut zurückhält, kann man nach dem Abtrennen der betreffenden Körpertheile auch bei dem lebenden Thiere und dem Menschen die Blutvertheilung studiren.

Bei derartigen Versuchen an lebenden Thieren kann z. B. eine Extremität mit all dem in ihr enthaltenen Blute vom Körper abgetrennt werden. Sie besteht vorzüglich aus Haut, Muskeln, Nerven, Knochen, wir fassen diese Organe als Bestandtheile des Bewegungsapparates zusammen. Aus dem bekannten Gewicht und dem bestimmten Blutgehalt des abgetrennten Theils des »Bewegungsapparates« können wir (annähernd) auf den Gesammtblutgehalt des gesammten Bewegungsapparates rechnen, dessen Gewicht leicht zu bestimmen ist. Ist die Gesammtblutmenge bekannt, so kann man daraus weiter (annähernd) bestimmen, wie viel Blut in den übrigen, nicht dem Bewegungsapparat angehörenden Körpertheilen: »Drüsenapparat und Blutleitungsapparat« enthalten ist.

Bei **ruhenden**, lebenden erwachsenen Kaninchen ist in den grossen Kreislaufsorganen, in der Leber, in den ruhenden Muskeln, in den übrigen Organen je $^1/_4$ der Gesammtblutmenge enthalten (J. Ranke). Die Beobachtungen von P. Bruns bestätigen diese Verhältnisse annähernd auch für den Menschen, auch hier enthält der ruhende Bewegungsapparat absolut weit weniger (nur 3,8%) Blut, als seinem Gewichte bei Zugrundelegung der für den Menschen zu 7,7% des Gesammtkörpergewichts gefundenen Blutmenge entsprechen würde. Die näheren Verhältnisse gibt die unten stehende vergleichende Tabelle.

Die Bewegungsorgane junger Thiere enthalten relativ mehr Blut, als die erwachsener. Die Thiere, welche eine relativ stärkere Muskelleistung in der Zeiteinheit verrichten (Hunde), haben auch ruhend mehr Blut in den Bewegungsorganen, als relativ trägere (Katzen, Kaninchen).

Sehr auffallend sind die Veränderungen in der Blutvertheilung durch vorwiegende Thätigkeit einer oder der anderen Organgruppe. Zu allen den thätigen Organen strömt in Folge der Nerveneinwirkung mehr Blut, und auch der Blutstrom durch dieselbe wird beschleunigt. Während der Bewegungsapparat bei geruhten, ruhenden Kaninchen im Mittel nur 36,6% der gesammten Blutmenge enthält, sah ich den Blutgehalt derselben bei Muskelthätigkeit bis auf 66,0% ansteigen. Auch nach Sistirung der Muskelarbeit bleibt diese Steigerung der Blutmenge noch einige Zeit bestehen: so erhebt sich der absolute Blutgehalt des Bewegungsapparates bei Fröschen durch fortgesetzte Muskelkrämpfe um fast 47%. Bei gesteigerter Thätigkeit der Drüsenapparate, z. B. in der Verdauung, wird dem Bewegungsapparat Blut entzogen, das den stärker arbeitenden Drüsen und Schleimhäuten in gesteigerter Menge zuströmt.

Da die Menge des dem Organe zukommenden Blutes c. p. der Intensität des Organstoffwechsels proportional ist, so muss nach dem Gesagten der Stoffwechsel in dem Organe zu- und abnehmen, je nachdem dasselbe stärker oder weniger stark thätig ist. Indem die thätigen Organe den zu derselben Zeit ruhenden Organen das Blut und damit eine wichtige Stoffwechselgrundbedingung z. Thl. entziehen, so ist während der Steigerung des Stoffwechselvorganges bei der Thätigkeit eines Organes oder einer Organgruppe gleichzeitig in den vergleichsweise ruhenden Organen der Stoffwechsel um eine entsprechende Grösse vermindert. Man bezeichnet diese Abwechselung in der Stärke der Functionirung, die zunächst auf der wechselnden Blutvertheilung beruht, als Thätigkeitswechsel oder Functionswechsel der Organe (J. Ranke).

Folgende kleine Tabelle gibt uns Mittelzahlen über die Blutvertheilung im Bewegungsapparat und im Drüsen- und Blutleitungsapparat bei verschiedenen Thieren während des Lebens (J. Ranke), für den Menschen führte P. Bruns an Gliedern, welche ohne Blutverlust amputirt waren, die Versuche aus.

	Mensch:	Hund:	Kaninchen:	Katze:	Frosch:
Gesammtblutmenge in Procenten des Körpergewichts	7,7%	6,7%	5,4%	4,6%	6,5%
Blutmenge im Bewegungsapparat					
a) in Procenten der Gesammtblutmenge	42,0 -	41,0 -	36,6 -	28,6 -	30,6 -
b) in Procenten des Organgewichts . .	3,8 -	3,4 -	2,7 -	1,6 -	1,7 -
Blutmenge im Drüsen- und Blutleitungsapparate					
a) in Procenten der Gesammtblutmenge	58,0 -	59,0 -	63,4 -	71,4 -	69,4 -
b) in Procenten des Organgewichts . .	29,7 -	24,0 -	18,0 -	17,9 -	27,4 -.

Nach P. Bruns beträgt, wie S. 428 angegeben, für möglichst normale menschliche Unterschenkel mit Fuss der Blutgehalt im Mittel 3,8% des Organgewichts. Von den Zahlen der obigen Tabelle für die Blutvertheilung beim Menschen ist die erste die von v. Bischoff bestimmte Gesammtblutmenge des Menschen = 1/13 des Körpergewichts, die weiteren Werthe wurden nach den Verhältnissen berechnet, welche E. Bischoff für die Organgewichte des jugendlichen Selbstmörders (cf. oben S. 196) angibt.

Bei Kaninchen, die ich möglichst rasch und krampflos getödtet hatte und dann, erst todtenstarr geworden, gefrieren liess, zeigte sich die Blutvertheilung von der im Zustande der Ruhe während des Lebens nicht wesentlich verschieden. Bei solchen todten Thieren konnte der Blutgehalt einer Anzahl von Organen gesondert bestimmt werden, die sich bei den lebenden Thieren der Bestimmung entzogen. In folgender Tabelle stehen die gefundenen Mittelwerthe bei lebenden und todten Thieren:

	lebendes Kaninchen:	todtenstarres Kaninchen:
Gesammtblutmenge in Procenten des Körpergewichts	5,4 %	—
Blutmenge im Bewegungsapparat	**36,6 -**	**39,78%**
a) in der Haut	—	2,10 -
b) in den Knochen	—	8,24 -
c) in den Muskeln	—	**28,20 -**
d) im Rückenmark und Gehirn mit den Häuten . . .	—	1,24 -
Blutmenge im Drüsen- und Blutleitungsapparate	**63,04 -**	**60,22 -**
a) in der Leber	**24,00 -**	**29,30 -**
b) in den Nieren	**1,93 -**	**1,63 -**
c) in der Milz	—	0,23 -
d) in den Gedärmen und Geschlechtsorganen	—	6,30 -
e) in Herz, Lunge und den grossen Gefässen	—	**22,76 -**.

Die Blutmenge vertheilt sich sonach bei dem Kaninchen in folgender Weise im Körper, indem wir von dem blutärmsten Organe an aufsteigen:

Blutgehalt	in Procenten der Gesammtblutmenge:	in Procenten des Organgewichts:
Milz	0,23%	12,50%
Gehirn und Rückenmark	1,24 -	5,52 -
Nieren	1,63 -	11,86 -
Haut	2,10 -	1,07 -
Gedärme	6,30 -	3,46 -
Knochen	8,24 -	2,63 -
Herz, Lungen und grosse Blutgefässe .	22,76 -	63,11 -
ruhende Muskeln	28,20 -	5,14 -
Leber	29,30 -	28,71 -.

Aerztliche und hygieinische Bemerkungen. — Schon die älteren Physiologen, z. B. MAGENDIE, hatten beobachtet, dass, wenn die Organe willkürlich oder unwillkürlich thätig sind, sie eine grössere Blutmenge erhalten. Wenn ihre Thätigkeit vorherrschend wird, so nehmen die Arterien, die zu ihnen gelangen, bedeutend an Umfang zu, wenn dagegen ihre Thätigkeit abnimmt oder ganz aufhört, so werden die Arterien kleiner und lassen nur noch eine kleine Menge Blut zu den Organen gelangen. Diese Erscheinungen sind nach MAGENDIE deutlich an den Muskeln, der Blutlauf wird in ihnen schneller, wenn sie sich zusammenziehen; wenn sie sich oft zusammenziehen, nehmen ihre Arterien an Umfang zu; wenn sie gelähmt sind, so werden in ihnen die Arterien sehr klein und der Puls ist in ihnen kaum mehr fühlbar. Diese Veränderung des Blutstroms durch das thätige Organ im Sinne einer Steigerung der Blutzufuhr gleichzeitig durch Beschleunigung des Blutlaufs und Erweiterung der Gefässlumina, also durch Vermehrung des im Organ gleichzeitig enthaltenen absoluten Blutquantums haben vor längerer Zeit die Versuche CL. BERNARD's an den Speicheldrüsen und später die Versuche LUDWIG's mit SKELKOW, SADLER und GASKELL an den Muskeln bestätigt. Während des Tetanus strömt mehr Blut aus den Muskelvenen aus. Die Ermüdung macht sich dadurch geltend, dass die bei Beginn und kürzerer Dauer des Tetanus erweiterten Muskelgefässe bei übermässig langer Dauer desselben sich wieder verengern. Schon äusserlich sehen wir das Volum der Glieder des Menschen bei Muskelarbeit zunehmen. Was für die Muskeln und Speicheldrüsen gilt, behält seine Geltung auch für die Verdauungsorgane des Unterleibs, auch sie erhalten während ihrer Thätigkeit eine reichlichere Blutzufuhr. Wir sehen bei Thieren, die in der Verdauung getödtet wurden, den gesammten Digestionsapparat reichlich mit Blut gefüllt, geröthet, während die gleichen Organe im Hunger blass erscheinen. Die Magen- und Darmschleimhaut, das Pankreas zeigen diese Veränderung ihres Blutgehaltes auf das Deutlichste. Den Aerzten ist bekannt (FRERICHS), dass bei der Verdauung die Leber eine vorübergehende, nicht unbedeutende Volumszunahme erfährt, die der Hauptsache nach primär auf einer reichlicheren Anfüllung ihrer Gefässe mit Blut beruht.

Da die Gesammtblutmenge eines Organismus eine annähernd gleichbleibende ist, so erhalten die übrigen Organe, z. B. des Verdauungsapparates, entsprechend weniger Blut, wenn die Muskelerregung den Muskeln eine gesteigerte Blutmenge zuführt. Darauf beruht zunächst der allen Aerzten bekannte Einfluss, welchen die Muskelbewegung auf Congestivzustände, z. B. des Intestinaldrüsenapparates, ausübt. FRERICHS sagt z. B., dass es meist ohne Schwierigkeit gelinge, mittelst aktiver Bewegung in freier Luft, Reiten etc., Hyperämien der Leber zu mässigen oder zu heben. Die Thätigkeit der Muskeln entzieht dem Drüsenapparat einen Theil des Blutes und hebt dadurch seine überreichliche Blutfülle, darauf beruht ein Theil des grossen hygieinischen Einflusses, den die aktive und passive Muskelbewegung: Reiten, Turnen, Fusswanderung etc. ausübt. Umgekehrt sehen wir bei der Verdauung die Apparate derselben von Blut strotzen, es muss das anderen Organen, vor Allem dem Bewegungsapparate entzogen werden. So erklärt sich die allgemeine Erfahrung, dass die Fähigkeit der Muskeln zur Arbeitsleistung während der Verdauung herabgesetzt ist. Der Muskel enthält während der Verdauung weniger Blut, als sonst während seines Ruhezustandes. Immer entsprechen Congestionen und Hyperämien einzelner Organe und Körpertheile Anämien und Blutarmuth an anderen Orten.

Schon oben wurde erwähnt, dass Blutarmuth, z. B. durch Blutverluste, die Organthätigkeit herabsetzt; schon nach verhältnissmässig kleineren Blutverlusten, bei denen die Thätigkeit der Muskeln und Nerven noch wenig alterirt war, sah ich die Ausscheidung von Galle und Harn sistiren. Muskelaktion, die dem Drüsenapparat Blut entzieht, sah ich Galle- und Harnausscheidung beträchtlich herabsetzen. Bei der Harnausscheidung folgte der primären Verminderung nach dem Aufhören der Muskelaktion eine Steigerung. Bluthaltige Muskeln sind im Stande, eine grössere Gesammtarbeit zu leisten, als weniger bluthaltige (J. RANKE). Aus diesen Bemerkungen mag die hohe physiologische und pathologische Wichtigkeit der Regulirung der Blutvertheilung einleuchten.

Die Blutmengenbestimmung, Blutverluste, Aderlass und Transfusion.

Von der Farbekraft des in den Blutkörperchen enthaltenen rothen Farbstoffes ist zur Blutmengenbestimmung Anwendung gemacht worden. Die Furcht der meisten Menschen bei dem Anblick von Blut, dessen Menge wie alles Erschreckliche gross erscheint, das starke Farbevermögen des Blutes, welches mit wenig Tropfen eine bedeutende Wassermenge in eine stark rothe Flüssigkeit zu verwandeln oder Kleider, besonders weisse Wasche, in grosser Ausdehnung zu durchtränken und zu färben vermag, tragen gemeinschaftlich die Schuld, dass man Blutverluste in ihrer Grösse enorm überschätzt — Verwundete schwimmen im Blut! — und danach eine viel zu grosse Blutmenge im Organismus annahm. Wrisberg schätzte die Menge Blut, die ein an Gebärmutterblutung gestorbenes Weib verloren hatte, auf 26 Pfund; in Burdach's Physiologie wird die Blutmenge, die man aus dem Körper eines Enthaupteten gewonnen hatte, auf 24 Pfund angegeben. Man schätzte die Blutmenge des Menschen auf etwa 1/7 des ganzen Körpergewichtes. Nach den oben erwähnten Untersuchungen, die hierüber Bischoff angestellt hat, ist das Verhältniss bei dem Erwachsenen ein weit geringeres, wie 1 : 13, bei Neugeborenen nur 1 : 19 (Welcker).

Diese Blutmengenbestimmungen sind nach der Methode von Welcker gemacht, die von den zu diesen Ermittelungen versuchten Methoden die genauesten Resultate gibt. Valentin hatte die Blutmenge dadurch zu bestimmen gesucht, dass er bei einem lebenden Thiere eine Blutentziehung machte und die entzogene Blutmenge und den procentischen Wassergehalt desselben bestimmte. Nun spritzte er eine bestimmte Menge Wasser in die Blutgefässe ein. Nachdem er annehmen konnte, dass sich Wasser und Blut im Kreislaufe vollkommen gemischt hatten, entzog er eine neue Blutprobe, in der er wieder die Wassermenge bestimmte. Diese zweite Probe sagte aus, um wieviel durch die bekannte eingespritzte Wassermenge der Gesammtwassergehalt des Blutes zugenommen hatte. Ein einfacher Regeldetriansatz ergab ihm aus diesen Daten die Gesammtblutmenge. Die Resultate nach dieser Methode sind aber nicht zuverlässig, da man nicht genau weiss, ob wirklich eine gleichmässige Mischung des Wassers mit dem Blute eingetreten ist, und weil sicher das verdünnte Blut sogleich in gesteigerten Diffusionsverkehr mit den Geweben tritt und dadurch seinen künstlich veränderten Wassergehalt sofort wieder auf den normalen Stand zurückzuführen bestrebt ist.

Nach Welcker's Methode wird zuerst eine Blutprobe entzogen, gemessen und ihr specifisches Gewicht bestimmt, oder man wiegt die Blutprobe direct auf einer chemischen Wage. Diese Blutmenge verdünnt man mit einer bestimmten Menge Wassers. Aus dem zu untersuchenden Organismus wird dann durch Ausfliessenlassen, Ausspritzen der Gefässe und Auslaugen der zerhackten Gewebe mit Wasser oder 1% Kochsalzlösung aller Blutfarbstoff ausgezogen. Man bekommt dadurch eine mehr oder weniger roth gefärbte Flüssigkeit, deren Menge man bestimmt. Davon bringt man in ein parallelwandiges Glasgefäss eine Probe. In ein genau gleiches Glasgefäss, — es können dazu auch Röhren von der gleichen Weite, Wanddicke und demselben Glase dienen, — so dass die auf ihre Färbung verglichenen Flüssigkeitsschichten gleich dick sind, bringt man eine kleine, gemessene Menge der mit wenig Wasser verdünnten Blutprobe und verdünnt diese so lange mit gemessenen Wassermengen, bis sie genau die gleiche Farbe hat, wie die »Waschflüssigkeit«. Die Menge der Waschflüssigkeit ist bekannt, die Gesammtmenge der Blutprobe mit dem zugesetzten Wasser ebenfalls. Wir wissen, in dieser Probe ist neben so und so viel Wasser so und so viel Blut. Procentisch muss das Wasser- und Blutverhältniss in beiden Flüssigkeiten, der Waschflüssigkeit und der Probeflüssigkeit, das gleiche sein, da ihre Färbung die gleiche ist. Eine sehr einfache Rechnung mit einer unbekannten Grösse ergibt uns die gesuchte Blutmenge in der Waschflüssigkeit, zu der noch die zuerst zur Probe entzogene Blutmenge hinzu gerechnet werden muss. Da das specifische Gewicht des Blutes bestimmt wurde, so lässt sich Volum leicht auf Gewicht berechnen und so das Blutgewicht mit dem Körpergewicht vergleichen. — Die Methode ist relativ sehr genau. Es thut ihr keinen wesentlichen Eintrag, dass

das venöse Blut stets eine etwas grössere Färbekraft besitzt, als das arterielle, und dass auch die anderen Blutarten darin Unterschiede zeigen. Man kann einen Theil der daraus entspringenden Fehler vermeiden, wenn man die Blutprobe aus gleichen Theilen arteriellen und venösen Blutes mischt.

Vierordt hat aus der Umlaufszeit der Gesammtblutmenge, aus der Blutmenge, welche eine Kammersystole entleert, und aus der Zahl der Systolen die Blutmenge des Menschen zu 5000 Gramm = 10 Pfund berechnet. Seine Methode, die unten noch erwähnt werden soll, gibt sonach das gleiche Resultat wie die Welcker'sche, sie bestätigen sich gegenseitig.

Blutverluste, Aderlass. Unter der Einwirkung des Blutverlustes verändert sich die Blutzusammensetzung um so stärker, je mehr Blut entzogen wurde. Der Gehalt an Blutkörperchen und Haemoglobin nimmt ab, der Wassergehalt zu, während der Gehalt an Eiweissstoffen sich wenig, der an anorganischen Stoffen gar nicht verändert zeigt. Nach wenigen Tagen sind bei gesunden Menschen und Thieren diese Veränderungen wieder ausgeglichen (Nasse u. v. A.). Tolmatscheff beobachtete ohne eine Veränderung in der Nahrungsmenge bei einem Hunde, welchem er in 71 Tagen 6 relativ grosse Blutentziehungen machte (im Ganzen 1,646 Kilogramm = 14,27% des Anfangskörpergewichts), ein sehr bedeutendes Ansteigen des Körpergewichts von 11,53 zu 17,30, d. h. um 50% des Anfangsgewichts.

Die Transfusion. Die Blutmenge kann, wie wir sahen, ohne dass dadurch das Leben beeinträchtigt würde, nicht unbedeutende Schwankungen erleiden. Ueber ein bestimmtes Maximalmaass darf aber der Blutverlust nicht gehen, ohne das Leben in seinem innersten Kerne zu bedrohen. Die Blutkörperchen und das in ihnen enthaltene Haemoglobin haben die Aufgabe, dem Organismus aus der Luft die nöthige Sauerstoffmenge zuzuführen. Verlassen diese Sauerstoffsammelvorrichtungen in grosser Anzahl den Körper, so tritt zuerst Sauerstoffmangel und schliesslich mit Nothwendigkeit Erstickung ein, wenn die restirende Blutkörperchenmenge dem Sauerstoffbedürfniss des Organismus nicht mehr genügt. Die Krämpfe, welche die Verblutung begleiten, sind Erstickungskrämpfe. Wir sehen bei Verblutenden das Bewusstsein schwinden. Die Herzbewegung wird schwach, das Blut nimmt an Fibrin zu und erhält in hohem Maasse die Neigung zu gerinnen. Diese Momente erhalten vielfältig durch Blutung hoch bedrohte Leben. Indem der geschwächte Herzstoss das entstehende Blutgerinnsel von der blutenden Gefässöffnung nicht mehr wegzustossen vermag, wird diese verschlossen und der Organismus erhält Zeit, seine Verluste an Blutkörperchen durch Neubildung derselben wieder zu ersetzen.

Seit den Versuchen, die im Jahre 1657 von Christoph Wren veranlasst wurden, ist es den Aerzten bekannt, dass es möglich ist, das Leben verblutender Thiere durch Einspritzen frischen Blutes anderer Thiere in ihre Venen zu erhalten. Die grössten Physiologen aller Zeiten haben sich mit der Bluttransfusion befasst, die in der neuesten Zeit vor Allem durch das Verdienst Martin's und Nussbaum's auch in die ärztliche Praxis eingeführt wurde. Bei Verblutungen, besonders im Wochenbette, denen der Arzt sonst hülflos gegenüberstand, ist das Mittel der Transfusion ein souveränes. Bei vielen Krankheiten und Vergiftungen wird wohl die Folgezeit die Bluterneuerung vom grössten Nutzen finden, wir werden sogleich unten einen derartigen Fall zu erwähnen Gelegenheit haben (S. 435). Es ist nöthig, dass sich der Arzt mit der Technik der Bluteinspritzung vollkommen vertraut mache, ehe er sie anzuwenden gezwungen ist. L. von Belina Swiontkowsky hat die Literatur und die verschiedenen Methoden der Transfusion zusammengestellt. In neuerer Zeit hat die Frage der Transfusion von Seite Panum's, Landois' u. v. A. eine erneute und eingehende Bearbeitung gefunden. Zur dauernden Erhaltung des Lebens kann nach Panum nur Blut derselben Species für jedes Thier dienen. Dem Menschen darf nur Menschenblut eingespritzt werden. Es zeigt sich zwar, dass bei verbluteten Thieren durch Einspritzen von Blut einer anderen Species die Functionen des Lebens für einige Zeit in normaler Weise zurückkehren. Diese Thiere gehen aber nach einigen Tagen aus verschiedenen Ursachen, oft an unstillbaren Blutungen, zu Grunde. Letztere rühren nicht davon her, dass man fibrinfreies Blut eingespritzt hatte. Panum räth zur Transfusion nur defibrinirtes Blut an. Nach kurzer Zeit zeigt sich, wenn Blut derselben Species eingespritzt

wurde, der Fibrinmangel ersetzt. Das oft verwendete Lammblut scheint im Menschenkörper rasch zersetzt zu werden. Ponfick fand in einer kurz nach einer Lammbluttransfusion gestorbenen Wöchnerin zahlreiche »Bruchstücke zerfallener Lammblutkörperchen im Plasma des Blutes aller Körpergegenden«. Vogelblut ist für Säugethiere direct giftig und zwar ganzes Blut wie Serum. Alles fremde Blut löst sich auf Plosz und Gyorgyai, Creite). Auch Landois nimmt als sicher an, dass sich im Blute des Menschen fremde Blutkörperchen auflösen und dadurch Veranlassung zu Verstopfungen von Gefässen geben können. Hundeblut schadet Füchsen wenig oder nicht.

Die Bluttransfusion nützt nicht als Ernährungsmittel. Verhungernde Thiere konnte Panum durch Bluteinspritzung nicht am Leben erhalten. L. Tschiriew konnte an Hunden nachweisen, dass die gleiche Blutmenge, welche, vom Magen und Darm aus aufgenommen, eine reichliche Steigerung der Harnstoffausscheidung hervorrief, direct frisch ins Blut eingespritzt die Ausscheidung des Harnstoffes nur in geringem Grade steigerte. Zu demselben Resultate kamen J. Forster und Landois bei der Wiederholung dieser Versuche; der Erstere weist darauf hin, dass jegliche Einspritzung von Flüssigkeit in das Blut die Harnstoffausscheidung etwas steigert. Blutserum dagegen steigert die Harnstoffausscheidung nach Injection in die Venen oder subcutan viel beträchtlicher, noch mehr Hühnereiweiss, sodass, wenn es sich um Ernährung durch subcutane Injectionen oder Injectionen ins Blut handeln sollte, Blutserum eingespritzt werden müsste. Natürlich kann es sich bei diesen Versuchen zunächst nur um Blut derselben Thierart handeln, da von »differentem Blut« der Zerfall in dem Gefässsystem nachgewiesen ist. Die Ursache der kapillaren Blutungen nach Transfusion heterogenen Blutes sucht Landois in collateraler Fluxion durch Verstopfung kapillarer Gefässbezirke, wobei eine geringere Gerinnungsfähigkeit des mit gelöstem Haemoglobin des Fremdblutes vermischten Blutes mitwirken soll. Andere denken an Ernährungsstörungen in der Gefässwand unter Einfluss des heterogenen Blutes. Neuerdings hat man bei Cholera asiatica günstige Erfolge von Bluteinspritzung in die Venen gesehen.

An Stelle der Transfusion räth Gaillard Thomas nach Wagstaffe's Vorgang **Milchtransfusion** in die Venen an. Nach 12 Operationen der Art, 2 von Howe, 3 von Hodder und 7 von Thomas selbst, erklärt er die Erfolge für sehr ermuthigend. Aehnlich wie bei Bluttransfusion erfolge nach der Operation zuerst ein Frostanfall und Temperaturerhöhung, welche Symptome jedoch bald zurücktreten und einem Wohlbefinden Platz machen sollen. Milch von einer gesunden Kuh, ganz frisch gemolken, sei zu verwenden. Ein Glastrichter, ein Gummischlauch und ein Röhrchen mit einem kleinen Knopf sollen jeden complicirten Apparat ersetzen. Die deutschen Experimentatoren kommen zu weniger günstigen Ergebnissen. N. Wulfsberg konnte die »ernährende« Wirkung der Milcheinspritzungen nicht bestätigen. Er fand eine Vermehrung der weissen Blutkörperchen, welche die Milchkügelchen »fressen« sollen. Auch nach starken Blutentziehungen vertrugen die Hunde Wulfsberg's nur kleine Injectionsmengen von Milch, so dass die Hoffnung, Bluttransfusionen durch Milchtransfusionen zu ersetzen, nicht gerechtfertigt erscheint. Subcutane Milchinjectionen wirken ebenfalls nicht »ernährend«.

Eine fieberhafte Temperatursteigerung tritt auch nach Bluttransfusion ein, auch wenn arterielles Blut eines Thieres in seine eigene Vene transfundirt wird (Albert und Stricker, P. Liebrecht). Als Grund dafür wird auf eine bei Transfusion eintretende Blutstauung im Pfortadersystem (Hasse) hingewiesen, worauf sich vielleicht auch die Milzschwellung bei Fieber beziehen mag.

Verhalten des Blutes gegen giftige Gasarten.

Wir haben das Verhalten des Blutes einigen Gasarten gegenüber noch zu beachten, die zwar z. Thl. in reiner Luft nicht vorhanden sein sollten, die aber oft genug zu Störungen des Blutlebens Veranlassung geben. Man bezeichnet die betreffenden Gasarten gewöhnlich als

giftige Kohlensäure, Kohlenoxydgas, Stickstoff, Stickoxydgas, Schwefelwasserstoff etc. Die Wirkung dieser gasförmigen Stoffe auf das Blut ist im Allgemeinen eine Sauerstoffentziehung, aber in verschiedener Art.

Wenn wir Thiere in einer Stickstoffatmosphäre ersticken sehen, so hat das seinen Grund nicht etwa in einer giftigen Wirkung des Stickstoffs auf den Organismus, wie die Bezeichnung des Gases voraussetzen lässt. Die Erstickung tritt ein, weil die für die Erhaltung der normalen Blutzusammensetzung nöthige Sauerstoffzufuhr zu den Blutkörperchen in der Stickstoffatmosphäre fehlt. Das Oxyhaemoglobin verwandelt sich in Haemoglobin, welches zwar die Fähigkeit zur Sauerstoffbindung und damit zur normalen Gewebsernährung noch besitzt, aber keinen Sauerstoff findet, um damit wieder Oxyhaemoglobin zu bilden. Es ist also bei Stickgas der Sauerstoffmangel, der erstickend wirkt. Ebenso tödtet reines Wasserstoffgas, das Niemand ein Gift nennt. Auch die Wirkung der Kohlensäure auf das Blut ist z. Thl. von dieser Art. Doch treten bei gesteigerter Kohlensäuremenge in der Atmosphäre und gehinderter Ausscheidung derselben aus dem Blute Vergiftungssymptome ein, welche auf Störungen des centralen Nervenlebens beruhen.

Etwas anders gestaltet sich die giftige Wirkung des Schwefelwasserstoffgases. Auch hierbei tritt ein Sauerstoffmangel im Blute ein, aber aus anderen Gründen. Das Oxyhaemoglobin hat die Fähigkeit, seinen Sauerstoff an leicht oxydirbare Substanzen abzugeben, und sich dabei in Haemoglobin zu verwandeln. Es wird daher der mit dem sauerstoffhaltigen Blutfarbstoff in Berührung kommende Schwefelwasserstoff oxydirt. Der Wasserstoff desselben wird unter Beschlagnahme des Sauerstoffs im Blute in Wasser verwandelt, wobei sich der Schwefel ausscheidet. Der Schwefelwasserstoff setzt dadurch (ROSENTHAL und KAUFMANN) auf andere Art, als die vorher genannten Gase, einen Sauerstoffmangel des Blutes und in Folge dessen in entsprechender Quantität eine wahre Erstickung. Die Blutkörperchen, resp. das Haemoglobin verlieren primär durch ihn nicht die Fähigkeit der Sauerstoffaufnahme. Im Anfang färbt der ausgeschiedene Schwefel das Blut gelbgrün. Im lebend mit Schwefelwasserstoff vergifteten Organismus kann es nicht zu den weiteren Zersetzungen des Blutes durch Schwefelwasserstoff kommen, welche schliesslich zu einer Schwärzung desselben führen. Sobald das Leben aufgehört hat, wird ja durch die Athmung auch kein Schwefelwasserstoff mehr dem Blute zugeführt. Wie Schwefelwasserstoff verhält sich Phosphorwasserstoffgas, das sich im Blut zu phosphoriger Säure reducirt (DYBKOWSKY). Auch Arsen- und Antimonwasserstoffgas scheinen analog zu wirken (HOPPE-SEYLER).

Kohlenoxydgas und Stickoxydgas gehen mit dem Blutfarbstoff ganz analoge Verbindungen ein, wie es der Sauerstoff thut, was bei dem optischen Verhalten der Haemoglobine schon besprochen wurde. Das Stickoxydgas ist seit den Untersuchungen seiner berauschenden Wirkungen durch H. DAVY vielfältig auf seine physiologische Bedeutung geprüft worden. DAVY glaubte, dass der in ihm erhaltene Sauerstoff vom Organismus zu seinen Verbrennungen verwendet, dass es im Blute in Stickstoff und Sauerstoff zerlegt werden könnte. Die Untersuchungen von L. HERMANN ergaben, dass dem nicht so ist. Das Leben wird durch Stickoxydul nur dann nicht beeinträchtigt, wenn es mit Sauerstoff gemischt ins Blut gelangt. Es bildet, ohne dass dadurch Sauerstoff aus dem Blute frei würde, mit dem Haemoglobin eine dem Oxyhaemoglobin analoge Verbindung von Stickoxydulhaemoglobin. Der Sauerstoff des Blutes verzehrt sich unter der Beimischung des Stickoxydules rascher als sonst. Es dringt in das Blut jedoch nur in Minimalmengen ein, da es irrespirabel ist (cf. Athmung). In Beziehung auf seine Austreibbarkeit aus dem Blute durch Sauerstoff verhält es sich analog dem CO, soll aber nach PODOLINSKY noch etwas schwerer austreibbar sein als letzteres.

Wichtiger als die Wirkung dieses Gases ist die des Kohlenoxyds. Das Kohlenoxyd verbindet sich, sowie es mit dem Blutfarbstoff im Blute in Berührung kommt, mit diesem zu Kohlenoxydhaemoglobin. Der Sauerstoff wird dabei vollständig aus dem Blute ausgetrieben, so dass mit genügender Quantität Kohlenoxyd geschütteltes Blut sich ganz sauerstofffrei zeigt. Das Blut nimmt unter der Einwirkung des Kohlenoxydgases eine dunkel kirschrothe Farbe an. Die Erfahrung lehrt, dass von diesem giftigen Gas verhältnissmässig grosse

Mengen, wenn sie in kleinen Dosen nach einander in das Blut eintreten, keine bedeutenden Störungen hervorrufen. Auf einmal geathmet würden 1000 Cub.-Cent. des Gases hinreichen, den Tod beim Menschen herbeizuführen. Bei Hunden kann 1/5 der gesammten Blutmenge mit Kohlenoxyd beladen werden, ohne den Tod zu veranlassen. Ist eine Vergiftung mit Kohlenoxyd eingetreten, so kann durch fortgesetzte künstliche Sauerstoffzufuhr zum Blute, durch künstliche Athmung das Leben gerettet werden. Der noch unvergiftete Antheil an Blutkörperchen, der noch Sauerstoff aufnehmen kann, muss so lange functioniren, bis das Kohlenoxydgas eliminirt ist. Ist die Vergiftung eine heftigere, so kann eine Zufuhr neuer, lebenskräftiger rother Blutkörperchen durch Bluttransfusion das Leben erhalten (Kühne). Das Kohlenoxyd verschwindet übrigens ziemlich rasch aus dem Blute. Man glaubte früher, dass die Elimination nur möglich sei, indem das Kohlenoxyd zu Kohlensäure verbrennt. Nun steht es durch Donders und Zuntz fest, dass das CO durch Auspumpen des Blutes im trockenen Pflüger'schen Vacuum und durch energische Ventilation des Blutes als solches aus dem Blute ausgetrieben werden kann. So wird also, so lange das Herz noch schlägt, energische künstliche Athmung genügen, um das Blut zur Norm zurückzuführen. Donders hat gezeigt, dass Durchleiten von O oder H oder CO_2 genügt, um das CO aus dem damit gesättigten Blute auszutreiben.

Die Kenntniss der Einwirkung der genannten Gase auf das Blut hat für den Arzt eine weittragende Bedeutung. Die Vergiftungen in Gährkellern durch Kohlensäure, in Latrinen durch dasselbe Gas und Schwefelwasserstoff, durch ausströmendes Leuchtgas und Kohlendunst, in denen sich Kohlensäure und Kohlenoxyd finden, beruhen auf dem geschilderten Verhalten des Blutfarbstoffs und der rothen Blutkörperchen gegen diese Gasarten. Das Kohlenoxydgas ist oft in nicht unbeträchtlichen Mengen im Leuchtgase enthalten, und dessen giftige Wirkungen beruhen zumeist auf dieser Beimischung. Henry fand es bis zu 12,3%. Peligot fand in einem Leuchtgase 28% dieses giftigen Stoffes! Man hat Erfahrungen, dass das Leuchtgas, das im Boden aus Röhren ausströmt, sich unterirdisch weit verbreiten und, indem es sich in entfernte Wohnhäuser zieht und dort ansammelt, Ursache von Erkrankungen der dortigen Bewohner werden kann. Ueber irrespirable Gasarten und indifferente Gase bei Athmung.

Nachweis des Blutes, Blutuntersuchung.

Man weist das Blut vorzüglich mit dem Mikroskop nach. Durch Wasserentziehung werden die rothen Blutkörperchen zu zackigen, sternförmigen Gestalten, während sie in sehr verdünnten Flüssigkeiten kugelig aufschwellen und einen Theil oder allen Farbstoff austreten lassen. Im verwesenden Blute verschwinden die rothen Blutkörperchen endlich, und es tritt an ihre Stelle eine körnige Masse. Eine mikroskopische Unterscheidung, ob das Blut vom Menschen oder von Säugethieren stammt, ist meist nicht möglich, da die Blutkörperchen der letzteren meist keine bemerkbaren qualitativen Unterschiede von ersterem zeigen und sich nur durch verschiedene Grösse unterscheiden, welche durch Schrumpfung und Quellung nach beiden Richtungen zu wesentlich modificirt werden kann. Nur das Kameel und kameelartige Thiere haben ovale Körperchen mit einem Kern. Den letzteren ähnlich sind die rothen Blutkörperchen der Vögel, Fische und Amphibien, die sich von einander durch ihre Grössenunterschiede unterscheiden lassen. Wenn das leicht zu verschaffende Hühner-, Tauben- oder Fischblut für Menschenblut, z. B. bei Krankheitssimulation — für Blutbrechen oder Bluthusten, oder für Menstrual- oder Hymenalblut — ausgegeben werden soll, kann also die mikroskopische Untersuchung von Werth sein. Manche pflanzliche Gebilde sind den Blutkörperchen sehr ähnlich, worauf man unter Umständen zu achten hat. In einer blutig gerotheten, anscheinend stark mit Blut getränkten Erde fand Erdmann mikroskopische, den Blutzellen ähnelnde Körperchen, welche von einer Alge: Porphyridium cruentum Naegeli herrührten.

Ist das Blut eingetrocknet, so gelingt es manchmal durch Aufweichen mit Wasser, die

Blutkorperchen zum Vorschein zu bringen. Regelmassig soll das nach der Methode von J. Gwosdew gelingen, der eine Mischung von Aether und Amylalkohol anwendet, welche die Blutkorperchen in nahezu normaler Form wieder sichtbar macht. Es kann mit diesem Gemisch auch die Frage entschieden werden, ob der Bluttlecken von faulem oder frischem Blute herruhrt. In Flecken aus faulem Blute treten nur feine Kornchen, keine Blutscheibchen hervor. J. G. Richardson zerreibt das eingetrocknete Blut zu feinem Pulver und leitet nun so lange durch das zwischen Objectträger und Deckglas befindliche Blutpulver vermittelst Loschpapier $^3/_4$ % Kochsalzlosung, bis das Praparat fast farblos geworden ist. Nun lässt er einen Tropfen Anilinroth unter das Deckglas fliessen und nach einer halben Minute wieder durch die Kochsalzlosung verdrangen. Die Blutkorperchen zeigen sich dann deutlich gefärbt.

Man hat in den Veranderungen, welche der Blutfarbstoff unter der Einwirkung von Kochsalz mit Essigsäure erleidet, eine sehr scharfe chemische Probe auf Blut, die vor Allem fur gerichtliche Zwecke verwendet wird: die Haeminprobe. Eine sehr geringe Menge trockenen Blutes — stecknadelkopfgross — reicht zu der Haeminprobe hin. Man mischt das Blutpulver mit etwas wenigem — kleine Messerspitze — Kochsalz und zerreibt beide zusammen sehr fein. Dann breitet man einen Theil der Mischung flach auf ein Objectglas zu mikroskopischem Gebrauche aus, legt ein Deckgläschen daruber und lässt nun einen Tropfen wasserfreier Essigsaure (Eisessig) von aussen zufliessen. Nun erwärmt man über einer möglichst kleinen Flamme auf dem Objectglase schwach, bis die Essigsäure eben Blasen zu werfen beginnt, und lässt einige Minuten abkühlen. Jetzt zeigt das Mikroskop zwischen farblosen Krystallen von Kochsalz und essigsaurem Natron kleine schwarze Krystalle von Haemin in grösserer oder geringerer Anzahl (Fig. 100). Hier und da ist die Krystallisation nicht eingetreten, neuer Essigsäurezusatz und neues Erwärmen bringt sie dann hervor. Flüssiges Blut gibt die Krystalle nicht, nur eingetrocknetes, mag es vorher frisch, faul oder gekocht gewesen sein. Das Haemin ist nach Hoppe-Seyler salzsaures Haematin, das in Essigsäure ohne Zersetzung loslich ist (Fig. 101).

Fig. 100.



Teichmann'sche Krystalle.

Fig. 101.



Krystalle des Haemin.

Nach Sonnenschein gibt eine mit Essigsäure oder Phosphorsäure angesäuerte Lösung von wolframsaurem Natron mit Lösungen von Blutfarbstoff einen rothen Niederschlag, der sich in Ammoniak dichroitisch löst.

Leube empfiehlt zu forensischen Zwecken auch die optische Blutprobe. Man bedarf dazu nur eines winzigen Fleckchens vertrockneten Blutes, den man in einem Tropfchen Wasser auflost. Die Lösung lässt man in eine feine Kapillare aufsteigen, die man in den Spalt des Spektroskops der Lange nach einfügt. Die beiden Absorptionsstreifen des Oxyhaemoglobins sind vollkommen charakteristisch bei einer ursprunglichen Blutmenge von $^1/_3$ Cub.-Millimeter.

Die Modificationen, welche der Blutnachweis in gerichtlichen Fällen erfahren muss, sind sehr mannigfaltig, worauf hier nicht eingegangen werden kann. Erschwert wird der Nachweis des Blutes durch Eisenrost, wenn sich das Blut auf einem Stahl- oder Eiseninstrument befindet. Man senkt den Stahl mit dem Flecken in kaltes Wasser; Farbstoff und Eiweiss, das hier in loslichem Zustande vorhanden ist, lösen sich allmälig mit Hinterlassung des Farbstoffes auf, der auf dem Stahl sitzen bleibt und mit dem Fingernagel abgelöst werden kann. Bei der Losung senkt sich ein rother Streifen auf den Boden der Flussigkeit, die dann weiter untersucht werden muss, Salpetersäure schlägt in ihr Eiweiss nieder. Hat sich Rost mit gesenkt, so kann dieser abfiltrirt werden, durch ein möglichst kleines Filtrum. Auch auf Zeugen bleibt nach der

Lösung des Blutfleckens das Fibrin zurück, was für gerichtliche Zwecke wichtig scheint, da man häufig die Blutflecken auf Kleidern und Wäsche von Menstrualblatt ableiten will (S. 413). Der Faserstoff kann übrigens auch fehlen, wenn das Blut z. B. unmittelbar auf das Hemd ausgeflossen war und sich von da aus in ein anderes Kleidungsstück eingesaugt hat.

Der Nachweis des Kohlenoxyds im Blut geschieht nach Hoppe-Seyler auf optischem Wege durch die Unveränderlichkeit der Kohlenoxyd-Haemoglobinstreifen durch reducirende Mittel. Versetzt man nach Hoppe-Seyler kohlenoxydhaltiges Blut mit mässig concentrirter Natronlauge im Ueberschuss, so entsteht nicht wie im gewöhnlichen Blute sogleich eine schwarzbraune, schmierige Masse, sondern eine zinnoberrothe: gefälltes Kohlenoxydhaemoglobin.

Cyanwasserstoff (Blausäure und Cyankalium) geht nach Hoppe-Seyler und Preyer auch eine Verbindung mit Haemoglobin ein, welche aber die Giftwirkung derselben nicht zu bedingen scheint, da Preyer die Existenz dieser Verbindungen im Blute mit Cyankalium und Blausäure vergifteter Thiere nicht nachweisen konnte.

Aerztliche Bemerkungen, Blut in Krankheiten. — Bei Erstickten gerinnt das Blut sehr langsam, der Mangel der Gerinnung bei vom Blitz Erschlagenen scheint ein Beobachtungsfehler (Kühne). Nach Schwefelsäurevergiftung soll das Blut manchmal sauer reagiren.

Bei Gelenkrheumatismus, Pneumonie, wie bei allen entzündlichen Krankheiten, soll das Blut mehr Faserstoff ausscheiden, es bildet unter Umständen eine Speckhaut (S. 388, 399, 413). Wo sich mehr Fibrin ausscheidet, deutet das auf einen grösseren Reichthum des Blutes an fibrinogener Substanz, da alles Blut fibrinoplastische Substanz im Ueberschuss besitzt. Im späteren Verlauf der Entzündungskrankheiten sehen wir, wie bei allen consumirenden Leiden, die wesentlichen Blutstoffe, namentlich Blutkörperchen und Blutfarbstoff, vermindert. Im leukämischen Blute, über dessen Reichthum an weissen Körperchen schon oben referirt wurde, fand Scherer auffallend viel Harnsäure, Hypoxanthin und Glutin (Collagen), Kühne macht darauf aufmerksam, dass dieses Vorkommen von Collagen die weissen Blutzellen zu den Zellen des Bindegewebes in Beziehung zu setzen scheint, deren Function die Bildung eines collagenen Gewebes ist. Bödeker gelang es auch, aus den Eiterzellen Glutin darzustellen, v. Gorup-Besanez fand jedoch kein wahres Glutin im leukämischen Blut, sondern einen leimähnlichen Körper. Auch G. Salomon vermisste in zwei Fällen lienaler Leukämie im Blute Harnsäure und Glutin, dagegen fand er Hypoxanthin zu 0,007—0,011% und Fleischmilchsäure zu 0,05—0,064%. Die Milz enthielt Glutin und Glycocoll, Hypoxanthin, Xanthin, Leucin, Tyrosin, aber keine Harnsäure. Auch die Pericardialflüssigkeit enthielt Hypoxanthin. Im Urin fand sich weder Fleischmilchsäure, noch Hypoxanthin. Blut bei carcinomatöser Pleuritis enthielt ebenfalls Hypoxanthin und Spuren von Fleischmilchsäure 0,007%. In der Cholera wird das Blut sehr wasserarm, theerähnlich, ebenso nach allen starken Diarrhöen, z. B. der Säuglinge (Atrophie). In der Cholera nimmt das Blutserum aus den Körperchen Kalisalze und Phosphate auf, deren Menge in den Blutkörperchen entsprechend abnimmt. Bei der bekannten Giftigkeit der Kalisalze kann eine solche Anhäufung derselben im Serum an den Krankheitserscheinungen der Cholera, z. B. den Krämpfen, nicht unbetheiligt sein. Auch die Harnstoffmenge im Blut nimmt zu, es findet sich in allen Organen Harnstoff, der dann auch massenhaft im Schweiss ausgeschieden wird. Bei Dysenterie sinkt das specifische Gewicht des Blutes, weil der Gehalt an Eiweissstoffen (nicht der an anorganischen Salzen) abnimmt. Bei allgemeinen Wassersuchten ist der Wassergehalt des Blutes erhöht. Bei Scorbut soll das Blut wasserreicher und reicher an Fibrin sein. Bei Arthritis steigt in der Regel der Harnsäuregehalt des Blutes. Garrod fand, dass das Blut der Arthritiker, in einem Uhrglase direct mit etwas Salzsäure versetzt, an einem hineingelegten Wollenfaden Harnsäurekrystalle absetzt. Bei Urämie (siehe Harn) häufen sich im Blute alle Harnbestandtheile an, die Kalisalze scheinen besonders an den Symptomen sich zu betheiligen. Bei Icterus lässt sich Gallefarbstoff durch die Gmelin'sche Reaktion im

Blutserum direct nachweisen, auch gallensaure Salze finden sich. Bei **Diabetes** fand man das Blut oft stark zuckerhaltig. Ueber Veränderung des Wassergehaltes des Blutes cf. auch oben S. 412. Der **Haemoglobingehalt** des normalen Blutes beträgt nach H. QUINCKE etwa 15 Vol. pCt. Er sinkt bei **Chlorose** (5,4%) und **Leukämie** (5,8%), auch nach wiederholten Blutverlusten und schweren konsumirenden Leiden (z. B. Pyämie 3te Fieberwoche) auf 11,8%.

In **entzündeten Organen** heften sich die **weissen** Blutkörperchen an die Wandungen der dann erweiterten Kapillaren und Venenanfänge an, wodurch das Strombett verengert, der Blutstrom verlangsamt wird, theilweise treten sie hierbei durch die Wandungen des Gefässrohrs hindurch (cf. **Diapedesis**).

Lösung von Blutfarbestoff hat man bei **Haematurie** (der Rinder) beobachtet. Chlorsaures Kali, salpetrigsaures Natron, Einathmung von Amylnitrit und Untersalpetersäuredämpfen bilden **Methaemoglobin** im Blute.

Elftes Capitel.

Die Blutbewegung.

I. Das Herz.

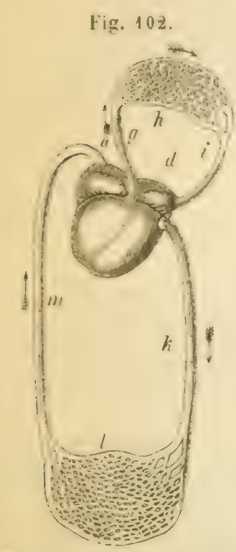
Allgemeine Beschreibung der Blutbahn.

Die Bewegung des Blutes beginnt im Herzen und kehrt, nachdem sie die Bahn der Gefässe durchlaufen, wieder zu ihrem Ausgangspunkte zurück, sie ist also ein Kreislauf und geschieht immer in derselben Richtung. Der Hauptbewegungsantrieb geht vom Herzen aus, das als doppeltes Pumpwerk in den Mittelpunkt der Blutbahn eingesetzt ist.

Die Blutbahn beginnt mit einem einfachen, röhrenförmigen Gefäss — Aorta — welches aus der linken Herzhälfte entspringt; sie verzweigt sich in der Folge vielfältig und erweitert ihr Lumen dadurch bedeutend, da die Querschnitte der aus einem einfachen Gefässe entspringenden feineren Zweige meist grösser sind, als der Querschnitt des einfachen Gefässes. Nur für mittelstarke Arterien gilt diese Regel nach Beneke nicht; er fand den Querschnitt der Aorta abdominalis 2 cm über der Bifurcation constant grösser, als die Summe der Querschnitte der beiden Iliacae comm.; dasselbe Verhältniss fand er für die Aorta ascendens und die 5 Hauptzweige der Aorta. Die Zweige der Aorta werden immer feiner, schliesslich zu Kapillaren, welche die kleinsten Gewebsabschnitte regelmässig umspinnen und deren Wandungen zwischen dem Blut und den Gewebsflüssigkeiten Diffusionsverkehr und durch die Stomata directen Stoffaustausch gestatten, während die grösseren Gefässe namentlich durch ihren inneren festen Epithelbeleg während des Lebens für die Blutflüssigkeit undurchgängig sind. Alle Abgabe von Blutbestandtheilen an die Gewebe erfolgt durch die Kapillarwand, ebenso, mit Ausnahme der Lymphe, auch die Einnahme in das Blut. Die breiteste Stelle der Gefässbahn, das Kapillargefässsystem, verschmälert sich endlich dadurch wieder, dass die Kapillaren sich zu grösseren Stämmchen vereinigen, die dann in umgekehrter Weise, als die eben geschilderte Verzweigung vor sich ging, zu immer grösseren Stämmen zusammentreten und in die rechte Herzhälfte, welche von der linken durch eine Scheidewand vollkommen getrennt ist, einmünden. Man nennt diesen eben beschriebenen Weg den grossen Kreislauf, mit Unrecht, da das Blut hier zwar zum Herzen, aber noch nicht zu seinem wahren Ausgangspunkte zurückgekehrt ist. Um die

Bahn zu vollenden, wird das Blut aus dem rechten Herzen durch das zweite arterielle Hauptgefäss: die Lungenarterie, A. pulmonalis, in die Lunge getrieben, wo es ein zweites Kapillargefässsystem zu durchlaufen hat, aus dem es in mehreren Gefässen dem linken Herzen zuströmt, um von dort, wo es seinen Ausgang genommen, auf demselben Weg den Kreislauf von Neuem zu beginnen. Im Gegensatz zu dem grossen Kreislaufe wird die Bahn des Blutes durch die Lungen von der rechten zur linken Herzkammer (ebenfalls missbräuchlich) als kleiner oder Lungenkreislauf bezeichnet (Fig. 102).

Fig. 102.



Kreislaufsschema. *k* Arterie des grossen Kreislaufs, die sich bei *l* in die Kapillaren auflöst, *m* die daraus entspringenden Venen des grossen Kreislaufs, die bei *a* in den rechten Vorhof einmünden, *g* Lungenarterie, *h* Lungenkapillaren, *i* Lungenvenen, die bei *d* in den linken Vorhof einmünden.

In den beiden Abschnitten des Gefässsystemes im grossen und kleinen Kreislaufe sehen wir das Blut bis zur Auflösung der Bahn in die Kapillargefässe vom Herzen weg, dann, nachdem es die Kapillaren passirt, wieder dem Herzen zuströmen. Die Gefässe, welche das Blut centrifugal zu den Kapillaren führen, heissen im grossen und kleinen Kreislaufe Arterien: die Gefässe, welche centripetal von den Kapillaren zum Herzen das Blut leiten, werden als Venen bezeichnet.

Aus dem linken Herzen strömt in den Arterien des grossen Kreislaufes hellrothes, arterielles Blut den Geweben zu. In den Körperkapillaren verändert sich die Farbe des Blutes, indem es Sauerstoff an die Gewebe abgibt und dafür Kohlensäure in sich aufsaugt, es wird dadurch dunkelrothes venöses Blut. Dieses venöse Blut strömt in den Venen des grossen Kreislaufes zu dem rechten Herzen zurück. Die Haupterneuerung des Blutes, die dem im Verkehr mit den Gewebsflüssigkeiten dunkel gewordenen Blute seine arterielle, hellrothe Farbe wieder ertheilt, geschieht in der Lunge. Das Gefäss, welches das dunkel gefärbte, venöse Blut aus dem rechten Herzen der Lunge zuführt, wird nach dem angeführten Grundsatze, dass alle Gefässe, welche das Blut vom Herzen wegführen, Arterien heissen, als Lungenarterie bezeichnet. Sie führt aber kein arterielles, hellrothes, sondern dunkles, venöses Blut. In den Lungenkapillaren geht die wichtige Farben- und sonstige Eigenschaftsveränderung des Blutes vor sich, die Lungenvenen, welche das Blut aus den Lungen zu dem linken Herzen zurückführen, enthalten sonach nicht venöses, sondern hellrothes, arterielles Blut.

Die Gesammtblutmenge hat die besprochenen zwei Kapillarsysteme zu durchfliessen. Ein Theil des Venenblutes, und zwar das aus den Kapillaren der Milz und des Darmes stammende, wird in einem kurzen Venenstamm, der Pfortader, vereinigt, die sich in der Leber noch einmal zu einem Kapillarsystem auflöst, das sein Blut in den Lebervenen von Neuem sammelt und durch die untere Hohlader dem rechten Herzen zusendet. Dieser Antheil des Blutes durchsetzt also ein dreifaches Kapillarsystem, ehe es zu dem linken Herzen wieder zurückkehrt. Man bezeichnet oft (missbräuchlich) diesen Theil der Strombahn des Blutes als: Pfortaderkreislauf.

Sehen wir von der Pfortader ab, so zerfällt die schematische Blutbahn (Fig. 102) in zwei symmetrische Hälften, in eine, welche arterielles Blut, und in eine zweite, welche venöses Blut führt. Das arterielle Blut fliesst von den Lungenkapillaren zur linken Herzkammer und von da zu dem Körperkapillarsystem, das venöse Blut strömt dagegen von dem letzteren Kapillarsysteme aus zu den Lungenkapillaren durch die rechte Herzkammer. Linke und rechte Herzkammer sind in gewissem Sinne functionell so vollkommen von einander geschieden, dass man sie wohl auch als linkes und rechtes Herz bezeichnet. Beide Hälften der Blutbahn haben nach dieser Anschauungsweise etwa in der Mitte ihres Verlaufes je ein Herz als Pumpwerk eingeschaltet, das die Bewegung des Blutes in ihnen besorgt.

Die Entdeckung des Kreislaufs. — Die Erkenntniss des Blutkreislaufs, ohne die eine eigentliche Erkenntniss der organischen Vorgänge im Körper der Thiere und des Menschen unmöglich war, ist erst eine verhältnissmässig sehr neue Errungenschaft der Physiologie. Das Alterthum und das Mittelalter hatten von diesem Vorgange keine Ahnung. Hippokrates nannte alle blutführenden Gefässe Adern. In dem ihm zugeschriebenen Buche über die menschliche Natur sehen wir die aufgezählten vier Hauptgefässpaare nicht einmal mit dem Herzen in Verbindung. Das erste Gefässpaar entspringt im Nacken und endigt auswärts, das zweite beginnt am Kopfe, bildet am Halse die Drosseladern und endet an der Fusssohle; das dritte verlauft von den Schläfen durch die Brustorgane zum Mastdarm; das vierte beginnt an der Niere, geht durch die Lungen nach den Armen bis zu den Fingern, biegt aber von da zu den inneren Theilen des Leibes zurück. Aristoteles' Lehre stimmt im Allgemeinen mit der des Hippokrates in Beziehung auf die Blutgefässe überein. Er nennt die Luftröhre Arterie. In einem späteren, dem Aristoteles wohl fälschlich zugeschriebenen Werke (Arist. de spirit.) wird die so lange herrschend gebliebene Ansicht über die Arterien aufgestellt. Man unterschied sie von den Venen und behauptete, dass sie, wie die Luftröhre, nicht Blut, sondern Luft führten. Die Lungenvenen bringen den »belebenden Lufthauch« von der Lunge her, und dieser ergiesst sich in die Arterien. Nach der Lehre Galen's enthalten die Arterien nicht blosse Luft, sondern nur ein feineres, reineres, luftartigeres Blut als die Venen, aus denen sie übrigens gespeist werden. Der Hauptirrthum, welcher dieser Anschauung der alten Zeit zu Grunde lag und sich während des ganzen Mittelalters erhielt, war der, dass man glaubte, das Blut fliesse in denselben Bahnen vom Herzen weg und wieder zu demselben zurück. Berengar, 1502—1527 Professor in Bologna, entdeckte zuerst an einigen Punkten die Klappen in den Venen, welche eine Bewegung der Flüssigkeit in ihnen nur dem Herzen zu gestatten. Fabricius von Aquapendente beschrieb diese Klappen 1574 in den meisten Venen des Körpers. Vorher schon hatte Michael Serveto 1553 die Bewegung des Blutes aus dem rechten Herzen durch die Lungen in das linke Herz anerkannt, während man sonst ein Durchschwitzen desselben aus der rechten in die linke Herzkammer durch die Scheidewand annahm. Die Entdeckung des eigentlichen Gesammtvorganges der Blutbewegung war dem Engländer Wilhelm Harvey aus Folkestone (geb. 1578, gest. 1657) vorbehalten. Siebzehn Jahre der Forschung hatten in ihm die Lehre vom Kreislaufe zur Gewissheit erhoben; er trat damit im Jahre 1619 öffentlich hervor und lehrte die Rückkehr des Blutes durch die Venen und schliesslich durch die Hohlvenen in die rechte Herzkammer. Das Blut strömt von hier zu den Lungen, von ihnen neubelebt zur linken Herzkammer, welche es dann durch die Arterien nach allen Theilen des Körpers entsendet. Schon 1630 trugen W. Rollfink, 1637 Ren. Cartesius die neue Lehre in Deutschland und Frankreich vor. Wir werden in einem späteren Capitel sehen, in wie inniger Beziehung diese grösste Entdeckung in der Physiologie zu einer kaum minder grossen: der Enträthselung des inneren Vorganges der Athmung steht.

Physiologische Anatomie des Herzens.

Wir beginnen unsere specielle Betrachtung des Kreislaufes mit dem Centralorgane desselben, mit dem Herzen, dessen aktive Zusammenziehung die Kraft liefert, welche das Blut durch die Arterien und Kapillargefässe in die Venen einpresst. Das Herz ist vorwiegend eine Druckpumpe; seine Saugwirkung wird S. 445 beschrieben.

Es ist Sache der Anatomie, den entsprechenden Bau des Herzens in seinen Einzelheiten zu schildern. Für unsere Zwecke genügt es vorerst, zu wissen, dass das Herz ein muskulöser Schlauch ist, der in vier Hohlräume zerfällt, von denen je zwei, Vorkammer und Kammer, direct in einander münden, von den beiden andern aber durch eine vollkommene Scheidewand getrennt sind. An den Einmündungsstellen der Vorkammern in die Kammern, sowie an den Anfangsstücken der aus den Herzkammern entspringenden beiden grossen Arterien: Aorta und Pulmonalis, stehen ventilartige Klappen, welche im normalen Verhalten die Blutbewegung nur in dem Sinne des Kreislaufs gestatten, indem sie sich jedem Rückwärtsströmen des Blutes vollkommen widersetzen.

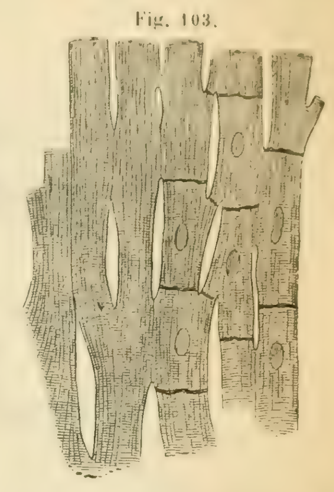
Die Gesammtgrösse und das Gewicht des Herzens ist ziemlich bedeutenden Schwankungen unterworfen. Im Mittel wiegt es etwa 300 Gramm und schwankt normal zwischen 210—450 Gramm (Krause). Bei Frauen ist es im Durchschnitte etwas kleiner, als bei Männern, überhaupt hängt die Herzgrösse auf das Innigste mit der Gesammtentwickelung des Organismus und der Muskulatur zusammen.

Das Herz ist in eine seröse Hülle: den Herzbeutel, das Perikardium, eingestülpt, dessen inneres Blatt die Aussenfläche des Herzens überzieht.

Im Innern werden alle vier Herzhöhlungen von einer Fortsetzung der innern Gefässhaut: dem Endokardium ausgekleidet, das an den Vorhöfen dick ist und wesentlich zu deren Elasticität beiträgt. Zwischen dem visceralen Blatte des Herzbeutels und dem Endokardium liegt die Muskulatur des Herzens. Ihre Bündel sind roth und quergestreift. Die Muskelschläuche scheinen hier im Allgemeinen schmäler, als in den willkürlichen Stammmuskeln, das Sarkolemma meist undeutlich; auch die Querstreifung ist sehr oft durch eine körnige Trübung des Inhaltes der Primitivmuskelschläuche verwischt. Das Zwischenbindegewebe ist wenig entwickelt, so dass man weniger, wie bei anderen quergestreiften Muskeln, scharf gesonderte Muskelbündel nachweisen kann. Die mikroskopischen Muskelschläuche sind eng mit einander verbunden, und es fällt bei ihnen die Erscheinung der Theilung und Verbindung von Muskelschläuchen mit einander durch längere oder kürzere Verbindungsstücke auf, so dass die mikroskopischen Muskelelemente netzförmig verbundene Reihen darstellen. Die Herzmuskelfasern (Muskelzellketten) gehen aus einer Verschmelzung einzelner reihenweis angelagerter Zellen hervor (Kölliker u. A.). Eberth hat gezeigt, dass auch im ausgebildeten Zustand der Herzmuskulatur der Wirbelthiere (Menschen) eine Sonderung der einzelnen Zellen von einander fortbesteht. Die die Muskelfasern zusammensetzenden ein- oder mehrkernigen Zellen zeigen ihre Kerne central gelagert, sie sind durch quere Scheidewände (G. R. Wagner hält die als Scheidewände gedeuteten Contouren für Artefacte) von einander getrennt und verbinden sich durch Zellausläufer in der angege-

benen Weise mit Zellen neben ihnen verlaufender Reihen (SCHWEIGGER-SEIDEL, Fig. 103). Sie mögen mit zu der mannigfaltigen Durchkreuzung der Bewegungsrichtungen der Herzmuskulatur beitragen. An den Herzkammern liegt die Muskulatur in mehreren Lagen über einander, besonders das linke Herz ist durch dicke Wandungen ausgezeichnet, das rechte Herz ist weit dünnwandiger. Die Muskellage an den Vorkammern ist verhältnissmässig nur spärlich.

Fig. 103.



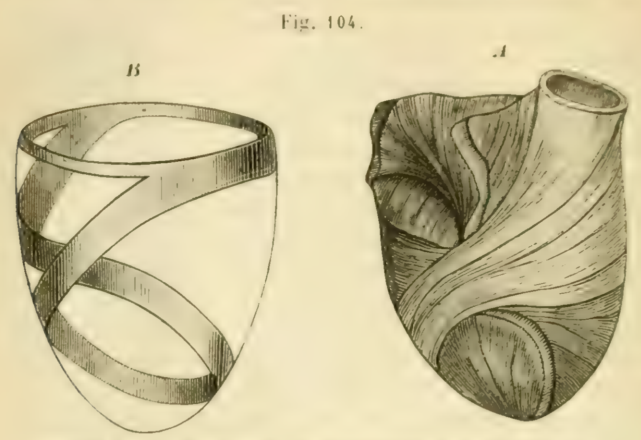
Anastomosirende Herzmuskelfäden in der Längslage. Rechts sind die Grenzen der einzelnen Zellen und ihre Kerne halbschematisch eingetragen.

Der Verlauf der Muskelfasern des Herzens ist sehr verwickelt. Sicher ist es, dass Vorkammer- und Kammermuskulatur gänzlich von einander getrennt sind, während die Fasern von einer Herzhälfte auf die andere übergehen. Beide Vorhöfe und beide Ventrikel arbeiten darum stets gleichzeitig, während Vorhöfe und Ventrikel sich unabhängig von einander contrahiren können. Die Ursprungsstelle der Herzmuskulatur liegt vorzüglich um die Einmündungsöffnungen der Vorkammern in die Kammern und der Ausmündung der Arterien, wo sich jene dichten sehnigen Ringe finden, welche die genannten Oeffnungen umkreisen und als Annuli fibrocartilaginei bekannt sind. Die Muskelfasern der Vorhöfe gehen ebenso wie die der Kammern von einer Hälfte auf die andere über. Die Scheidewand der Vorhöfe gehört in ihren Fasern sowohl dem rechten, als dem linken Vorhofe an. Auch die Kammerscheidewand ist der Muskulatur der beiden Kammern gemeinschaftlich. Nach KÖLLIKER ist die Muskulatur in den Kammern im Allgemeinen so angeordnet, dass die Fasern sich sowohl an der inneren als äusseren Fläche in ihrem Verlaufe durchkreuzen und dass sich dazwischen Uebergänge aus der einen in die andere Richtung erkennen lassen. Die Muskeln entspringen an den Klappenringen (Ostia venosa und Aorten- und Pulmonalmündung) theilweise mit kurzen Sehnen, theilweise direct, verlaufen dann in verschiedenen Richtungen: entweder schief, der Länge nach oder quer, biegen sich, nachdem sie in einer der angegebenen Richtungen einen grösseren oder kleineren Abschnitt der Kammern umkreist haben, wieder zurück zu ihrem Ursprung, in dessen Nähe sie sich wieder ansetzen. Sie bilden also fast überall Schleifen (Fig. 104), die sich in ihren Richtungen auf das Mannigfaltigste durchkreuzen und fast alle mehr oder weniger um sich gedreht sind. Ein Theil der Fasern gelangt nicht mehr zu ihrem Ausgangspunkte zurück, sondern schlägt sich in die Papillarmuskeln um, welche endigen an den Sehnenfäden der Klappen (Chordae tendinae). Für die spiralige Anordnung der Muskelzüge ist der Grund wahrscheinlich in entwickelungsgeschichtlichen Momenten zu suchen, da der ursprüngliche Herzschlauch bei seiner Ausbildung nicht allein eine schleifenförmige Biegung, sondern auch eine Spiraldrehung erleidet, durch welche die ursprünglich vorhandenen Längs- und Querfasern eine entsprechend veränderte Richtung ihres Verlaufes annehmen

müssen (Schweigger-Seidel). Bei den Arterien scheint ebenfalls die Muskulatur auch im entwickelten Zustand auf zwei sich rechtwinkelig kreuzende Schichten zurückgeführt werden zu müssen, von welchen die äussere circulär verläuft.

Das Endokardium überzieht die ganze vielgestaltige Innenfläche des Herzens mit allen Hervorragungen und Klappen. Letztere, welche aus Binde-

Fig. 104.



Schema des Faserverlaufs der Herzkammermuskulatur (nach Ludwig).

gewebe mit eingelegten elastischen Fasernetzen und Muskelfasern (Reid. Kürschner u. A.) (in den Atrioventricularklappen) bestehen, werden auf ihren beiden Flächen von dem Endokardium bedeckt, so dass man noch bis gegen ihren Rand drei gesonderte Lagen an ihnen unterscheiden kann. Am Rande verschmelzen letztere. Das Endokardium überkleidet dort die faserige Haut nur noch mit Epithelzellen. Das Endokardium ist von weisser, sehnenartiger Farbe und lässt drei Schichten unterscheiden: ein Epithel aus vieleckigen oder gestreckten, kernhaltigen, platten Zellen, welche eine mehr oder weniger dicke Lage elastischen Gewebes bedeckt, das sich besonders in den Vorkammern und zwar am meisten in der linken verdickt zeigt. Eine schwache Bindegewebslage befestigt das Endokardium an seine Unterlage. Im Innern der Herzkammern ist es so dünn, dass überall die natürliche Farbe der Muskeln durchschimmert, doch auch hier lassen sich die drei Schichten noch nachweisen. Nach Schweigger-Seidel betheiligt sich auch Muskelgewebe, und zwar glattes und quergestreiftes, an der Endokardiumbildung. Die glatten Fasern sollen zwischen den elastischen Lamellen liegen.

Die Blutgefässe, welche das Herz selbst mit Blut versorgen, umspinnen mit ihren Kapillaren in rechteckigen Maschen häufig nicht nur eine, wie bei den anderen quergestreiften Muskeln, sondern mehrere der dünnen, mikroskopischen Muskelfasern. Auch in die Klappen gelangen kleine ernährende Gefässchen, sowie in das Peri- und Endokardium. Die Venen gehen in die Kapillaren sehr rasch über, indem mehrere kapillare Gefässchen sofort zu einem dickeren Stämmchen zusammentreten, was den Abfluss des Blutes wesentlich erleichtern muss. Lymphgefässe lassen sich im Peri- und Endokardium als eng- oder weitmaschige Netze nachweisen, einzelne Lymphgefässe dringen auch in die

Klappen ein (EBERTH). Nach SCHWEIGGER-SEIDEL ist auch die Herzmuskulatur selbst reich an Lymphgefässchen, die theils röhrenförmig mit den oben genannten Netzen zusammenhängen, theils spaltartig (HENLE), aber mit einem dem Lymphgefässendothel analogen Häutchen ausgekleidet, ein sich mannigfach verbindendes Canalsystem zwischen den Muskelfasern bilden.

Ueber die Nerven folgt das Nähere unten.

Chemie des Herzfleisches. — Die chemische Zusammensetzung des Herzfleisches stimmt im Allgemeinen mit der der willkürlichen, quergestreiften Muskeln überein. Wir werden bei der Vergleichung der Aenderung der chemischen Zusammensetzung des Muskelfleisches durch vorausgegangene bedeutende mechanische Leistungen (Contractionen) erkennen, dass das Herz sich wie ein stark angestrengter Muskel verhält, was bei seiner rastlosen Thätigkeit nicht auffallen kann. Es zeigt vor Allem konstant einen ziemlich viel höheren Wassergehalt, als die übrigen Körpermuskeln. E. BISCHOFF fand in den Stammmuskeln eines Hingerichteten:

	feste Stoffe	24,3%
	Wasser	75,7 -
Im Herzfleische:		
	feste Stoffe	20,8 -
	Wasser	79,2 -

Aehnliche Verhältnisse finden sich bei allen Säugethieren. Der Fleischsaft des Herzens ist ausgezeichnet durch das Vorkommen einer nicht gährungsfähigen Zuckerart: des Inosit (SCHERER), welche in anderen Muskeln noch nicht mit Sicherheit erwiesen scheint. Man wollte bisher einen grösseren Gehalt des Herzfleisches an Kreatin aufgefunden haben, als in den übrigen Muskeln desselben Thieres: GREGORY fand im Ochsenherzen 1,4, im Ochsenfleisch nur 0,6 pro mille Kreatin. Das Verhältniss ist gerade umgekehrt, das Herz enthält weniger Kreatin, dagegen wohl stets einen Gehalt von Kreatinin, das den ruhenden Muskeln gewöhnlich fast vollkommen fehlt und durch die Einwirkung der während der Contraction entstehenden sauren Reaktion des Muskelsaftes aus dem Kreatin gebildet scheint. In Beziehung auf die übrige Zusammensetzung gilt alles bei den Skeletmuskeln Gesagte.

Die Bewegungen des Herzens.

Das Herz erscheint während des Lebens fast in unausgesetzter Bewegung. Es ziehen sich seine Vorkammern und Kammern in abwechselndem Rhythmus zusammen und erschlaffen, erweitern sich wieder. Die Zusammenziehung heisst Systole, die Erweiterung Diastole. Die beiden Vorkammern arbeiten immer gemeinschaftlich, gleichzeitig, ebenso die beiden Herzkammern. Nähere Beobachtungen ergeben, dass es eine kleine Pause gibt, während deren das gesammte Organ ruht. Diese Pause folgt auf jede Kammersystole. Während sich dann die Kammern erweitern, folgt auf die Pause eine Contraction der Vorkammern, dann eine immer etwas länger dauernde Zusammenziehung der Kammern, auf welche dann wieder die kurze Gesammtruhe eintritt, nach deren Ablauf die Contractionen in steter Regelmässigkeit wieder beginnen.

Während der Gesammtpause der Contractionen saugt sich das Herz ganz mit Blut voll, so dass sowohl Vorkammern als Kammern mit Blut erfüllt sind. Die Erweiterung, auf welcher diese Ansaugung beruht, geschieht, abgesehen von der unten zu besprechenden Selbststeuerung des Herzens (S. 450), theils durch die Wirkung der Elasticität des Herzens, — auch ausge-

schnittene Herzen erweitern sich noch nach der Contraction; bei grossen Hunden fanden GOLTZ und GAULE den hierauf beruhenden, von der Athmung unabhängigen Saugdruck einer Wassersäule von 320 mm = 23,5 mm Quecksilber gleich, bei gesunden Menschen ist er wahrscheinlich noch grösser; — ein zweiter Grund der eintretenden Erweiterung im unversehrten Organismus liegt aber in dem negativen Druck, der in der Brusthöhle, in der das Herz mit den grossen Gefässen eingeschlossen liegt, herrscht. Der Einfügungsmodus der Lungen in dem Brustraume bringt es mit sich, dass sie, auch ehe sich der Brustkorb bei der Einathmung erweitert, über die natürliche Grenze ihrer Elasticität ausgedehnt sind. Dadurch wird beständig auf alle in der Brusthöhle selbst liegenden oder sie begrenzenden Organe ein negativer oder Saugdruck ausgeübt, der die betreffenden Organe in den von den ausgedehnten, sich zu verkleinern bestrebten Lungen eingenommenen Raum hineinziehen muss. Hierin liegt auch der Grund, warum wir bei mageren Leuten die Zwischenrippenräume beim Einathmen einsinken sehen, und warum stets alle Hohlorgane in der Brusthöhle ausgedehnt erhalten werden. Sowie die Herzcontraction nachlässt und den Wirkungen des negativen Druckes in der Brusthöhle keinen übermächtigen Widerstand mehr entgegensetzt, dehnt sich das Herz aus und saugt die Vorkammern und Kammern aus den grossen Venen mit Blut voll. Ein etwaiger Rückfluss des Blutes aus den Arterien in das Herz ist während der Diastole durch den Verschluss der Semilunarklappen gehindert. Wenn also die Herzcontractionen beginnen, ist sowohl in Vorkammern als Kammern schon Blut.

Die Systole der Vorkammern wird zuerst an den Venenmündungen als Contraction und Verengerung sichtbar, von da schreitet sie über die ganze Muskulatur in der Vorkammer fort. Das in der Vorkammer enthaltene Blut wird durch den erhöhten Druck, da ein Rückfluss in die grossen Venen durch die aktive Verengerung ihrer Mündungen und die entfernteren Venenklappen gehindert ist — an der Koronarvene und der unteren Hohlvene existiren sogar an ihrer Einmündungsstelle wahre Klappeneinrichtungen — in die schon Blut enthaltende Kammer eingepresst, deren Atrioventrikularklappen offen stehen, und deren Wände während ihrer Erschlaffung noch einer stärkeren Ausweitung fähig sind. Die Kammer kann also noch so lange Blut in sich aufnehmen, bis der Druck in Vorhof und Kammer gleich geworden ist. Ein geringer Druckunterschied zu Gunsten der Kammer reicht dann hin, die Klappen zwischen Vorkammer und Kammer zu schliessen. Es scheint dieses Uebergewicht zu Gunsten des Druckes in der Kammer dadurch zu Stande zu kommen, dass gegen Ende der Vorkammersystole, wenn der Druck auf beiden Seiten gleich geworden ist, die Energie der Vorkammercontraction etwas nachlässt. Das Blut sucht nun aus der ausgedehnten Kammer zurückzuströmen und presst dadurch die Zipfel der Klappen an einander, wobei vielleicht auch die S. 444 u. 447 erwähnten Klappenmuskeln unterstützend eintreten (cf. unten). — Dann folgt die Systole der Kammer, während der Vorhof erschlafft. Der Verschluss der Kammer-Vorkammerklappe wird in Folge davon noch fester. Einmal, weil der durch die Contraction gesteigerte positive Druck in der Kammer die Klappenzipfel stärker an einander presst; andererseits werden aber auch durch die Contraction der Papillarmuskeln, an die sich die Klappenzipfel durch Sehnenfäden anheften, die entsprechenden Klappenzipfel einander genähert. Die

Sehnenfäden der beim Schluss an einander liegenden Klappentheile setzen sich meist an denselben Papillarmuskel an, sie werden also durch seine Contraction gegen einander gezogen. Ein vollkommener Verschluss dieser Klappen ist aber, wie angegeben, schon vor der Contraction vorhanden, da bei der Systole der Kammern kein Zurückströmen von Blut in die Vorkammer stattfindet. Die Contraction der Kammern steigert den Druck so weit, dass die gespannten Semilunarklappen der Arterie geöffnet, an die Arterienwand angepresst werden und den Austritt des Blutes aus der Kammer in die Arterie gestatten. In dem Anfangstheile der Arterie wird durch die stärkere Füllung natürlich momentan der Druck bedeutend gesteigert. Sowie die Diastole der Kammer eintritt, wird in ihr der Druck, wie wir gesehen haben, negativ, sie füllt sich von den Venen her mit Blut. Die Semilunarklappen aber schlagen, durch den in der Arterie nun entstehenden Ueberdruck ausgedehnt und an einander gepresst, wieder zusammen und bilden einen so vollkommenen Verschluss, dass aus der Arterie kein Tropfen Blut in die Kammer zurückfliesst.

Wir sind im Stande, die Mehrzahl der genannten Vorgänge dem Auge sichtbar zu machen. Ein ausgeschnittenes Froschherz schlägt noch Stunden lang fort, aber auch bei Säugethieren, denen wir die Brusthöhle geöffnet haben, sieht man, wenn künstliche Athmung unterhalten wird, die Contractions-Erscheinungen des Herzens sehr schön, und der in Worten nur schwer anschaulich zu beschreibende Vorgang wird durch den Anblick leicht verständlich, besonders wenn bei beginnender Ermüdung des Herzens sich die Contractionen langsamer folgen. Bei gewöhnlicher Pulsfrequenz nimmt die Kammersystole etwa $^2/_5$, die Diastole etwa $^3/_5$ der ganzen Periode in Anspruch (Valentin, Landois). Nach Donders variirt bei Veränderung der Pulsfrequenz nur die Dauer der Diastole, während die Dauer der Systole constant bleibt. (Ueber Volum des Herzens cf. Cap. XII.)

Nach Paladino, welcher die Muskelfasern in den Atrioventrikularklappen bei Mensch und Thieren studirte, sind diese Klappen selbständig contractil. Ihre Muskelfasern stehen mit den Papillarmuskeln in directer Verbindung, ihre Contraction hebt die Klappen von der Ventrikelwand ab und betheiligt sich damit an dem Klappenschluss.

Marey, Fick u. A. haben bei Hunden über den Blutdruck im Herzen directe Beobachtungen angestellt. Im rechten Vorhof schwankt nach Fick der Blutdruck nur sehr unbedeutend und ist nahezu = 0, d. h. = Atmosphärendruck. Bei der Exspiration steigt der Druck über Null, bei der Inspiration sinkt er bis 10 mm Quecksilber unter Null. Im rechten Ventrikel beträgt der höchste Druckwerth bei der Systole zwischen 18—42 mm Quecksilber. Der Druck steigt mit dem Beginn der Systole rapid zu dieser Höhe an, um dann mit Beginn der Diastole ebenso rasch wieder abzusinken und für die ganze Dauer derselben constant so niedrig zu bleiben. Im linken Ventrikel erreicht der Druck während der Systole in maximo 140 mm Quecksilber. Bei sehr schnellem Herzschlag glaubte Fick zu bemerken, dass hier und da der Druck in der Aorta grösser werde, als im linken Ventrikel, sodass das Blut aus diesem nur noch durch die ihm im Ventrikel ertheilte Geschwindigkeit in die Arterie eingeschleudert werden könne. Goltz und Gaule constatirten, dass diese letztere Angabe Fick's auf einer durch seine Experimentalmethode bedingten Täuschung beruhe: sie fanden den Druck in der Aorta stets etwas geringer, als im linken Ventrikel. Nach ihnen verhält sich der Druck im rechten Herzen zu dem im linken wie 2 : 5.

Form- und Lageveränderung des Herzens bei der Contraction.

Die Herzcontractionen sind mit Formveränderung des ganzen Herzens verknüpft. Alle Muskeln werden bei der Contraction kürzer und dicker, ebenso das Herz. Sein Längendurchmesser wird etwas verkürzt, sein Dickendurchmesser von vorne nach hinten nimmt dabei etwas zu. Die Kammern haben eine kegelförmige Gestalt, deren Basis an der Vorhofsgrenze liegt. Während der Diastole der Kammern ist die Gestalt des Durchschnittes der Kammerbasis elliptisch. Der kleine Durchmesser der Ellipse läuft von vorne nach hinten, der grosse von rechts nach links. Während der Systole verändert sich die elliptische Form in eine kreisrunde, der Querdurchmesser wird also verkürzt, während der Durchmesser von vorne nach hinten um ebensoviel vergrössert wird.

Ausser dieser Formänderung wechselt das Herz bei jeder Contraction auch etwas seine Lage im Brustraume. Seine Basis steigt etwas nach abwärts und, indem das Herz sich um eine durch den längern Durchmesser der elliptischen Kammerbasis gelegte Queraxe dreht, wird die Herzspitze etwas nach vorwärts gerückt. Dieses »Aufrichten der Herzspitze« ist an ausgeschnittenen, auf der Hinterseite liegenden Froschherzen deutlich zu sehen, so dass es also nicht von der Aufhängungsweise des Herzens in der Brust herrühren kann. Auf diesem Andrücken der Herzspitze beruht der bei den meisten Menschen zwischen der 5. und 6. Rippe zu fühlende Herzstoss oder Herzschlag. Die Contraction drückt die schon meistens während der Diastole an der Brustwand anliegende Herzspitze an diese noch stärker an und wölbt bei mageren Individuen den betreffenden Zwischenrippenraum sichtbar in die Höhe. Fast immer ist der Herzstoss für den aufgelegten Finger fühlbar. Bei tiefer Inspiration rücken die Lungenränder beider Lungen über das Herz her, indem sie sich zwischen Brustwand und Herzbeutel einschieben. Dadurch kann der Herzstoss ganz verdeckt werden. Bei der Exspiration muss er am deutlichsten sein, weil dann das Herz, mit einer ziemlich bedeutenden Fläche von den Lungen nicht bedeckt, der inneren Brustwand anliegt.

Eine Anzahl Experimentatoren behaupten, dass bei der Systole mit der Herzbasis auch die Herzspitze nach unten und links rücke, und zwar nach Beobachtungen am Menschen bei angeborenem Mangel des Sternums, frischen und verheilten Thoraxwunden mit »Freilegung« des Herzens etc. (Skoda, Bamberger, Gerhard u. A.). Diese Verschiebung des Gesammtherzens nach abwärts wird auf Streckung der grossen Gefässe bei der Bluteinpressung oder auf »Rückstoss« bezogen. Bei Thieren soll nach Filehne und Penzoldt bei Vagusreizung umgekehrt die Herzspitze bei der Systole (Herzstoss) jedesmal nach oben und rechts, bei der Diastole nach unten und links rücken. Auch beim Menschen vermissten sie (in einem Fall) jene systolische Bewegung der Herzspitze nach abwärts. F. Loesch will dagegen an dem primären Abwärtsrücken der Herzspitze bei Systole auch für Thiere festhalten.

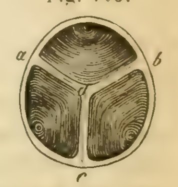
Zur Untersuchungsmethode. — Zur Aufzeichnung des Herzstosses in graphischer Darstellung dienen indirect die Registrirungen des Arterienpulses, deren Methoden unten beschrieben werden. Marey's Kardiograph setzt die Bewegung der durch den Herzstoss erschütterten Brustwandstelle durch eine angelegte Feder, deren Exkursionen durch Luftdruck übertragen werden, in Bewegung eines Schreibhebels um, der auf eine mit gleichmässiger Geschwindigkeit vorüberbewegte Papierfläche (cf. unten Kymographion) Curven beschreibt.

Die Herzklappen und ihr Schluss.

Das Spiel der Klappen kann bei isolirten, künstlich bewegten Herzen, deren Vorhöfe man abgeschnitten und in deren Arterien man Glasröhren eingebunden hat, unter Wasser betrachtet werden. Der Uebergang des Blutes aus der Vorkammer in die Kammer wird durch die venösen oder Atrioventrikular-Klappen — Valvulae venosae — geregelt. Nach der Zahl ihrer häutigen Zipfel wird die Klappe des linken Herzens als Valvula bicuspidalis oder mitralis benannt, die Klappe des rechten Herzens als Valvula tricuspidalis. Diese Klappen bestehen aus drei- und zweitheiligen Lappen, die mit breiter Basis schlauchförmig an der Wand der Kammervorhofsgrenze mit ihren freien Rändern durch die Chordae tendineae an den Papillarmuskeln befestigt sind.

Wir verstehen den Bau dieser Klappen am leichtesten, wenn wir uns an ihrer Anheftungsstelle an den fibrösen Ringen der Vorhofsgrenze einen zartwandigen Schlauch, etwa ein Darmstück analog wie bei dem unten zu besprechenden Weber'schen Kreislaufsschema angesetzt denken, welcher in die Kammerhöhlung frei hereinhängt und an seinem freien Ende durch einige Fäden an die Kammerwand befestigt ist. Füllen wir die Kammer nun durch dieses Ventil mit Wasser und suchen es bei verschlossener Arterie durch Zusammenpressen des Herzens aus der Eingussöffnung wieder zurückzupressen, so gelingt uns das nicht, die freien Ränder des Schlauches werden zusammengepresst, die Fäden hindern ein Umstülpen, und je stärker wir drücken, desto fester wird dieser einfache Ventilverschluss. Es leuchtet ein, dass ein Schluss auch dann noch erzielt werden kann, wenn der Ventilschlauch, wie am Herzen, gegen sein freies, mit Fäden angeheftetes Ende in zwei oder drei Zipfel gespalten ist; ein gesteigerter Druck wird ihre Ränder ebenso fest zusammenpressen, als wenn ein mit einer kreisförmigen Oeffnung versehener Schlauch vorhanden wäre. Bei dem Verschluss legen sich die Klappen nicht flächenhaft vor die zu verschliessende Oeffnung; die geschlossenen Zipfel begrenzen einen in die Vorkammer offenen kegelförmigen Raum, so dass sich die Höhlung der Vorkammer in den geschlossenen Klappen mit einer kegelförmigen Spitze in das Kammerlumen herein fortsetzt.

Fig. 105.



Die Semilunarklappen geschlossen. *a b c* Berührungslinien der Klappenränder. *d* Die an einander stossenden Knötchen der Klappen.

Die Art der Wirkung der taschenförmig an der Mündung der Arterien stehenden halbmondförmigen oder Semilunar-Klappen ist leicht verständlich. Der Blutstrom aus der Kammer sucht sie gegen die Wand anzupressen und macht dadurch den Weg in die Arterie frei. Versucht bei einem Ueberdruck in der Arterie das Blut in die Kammer zurückzuströmen, so buchtet es die sich entgegenstemmenden Taschenventile aus und drückt ihre freien Ränder gegen einander, die sich dann in der bekannten dreiseitigen, sternförmigen Figur an einander legen (Fig. 105).

Die Coronararterien, welche dem Herzmuskel das Blut zuführen, entspringen in dem Sinus Valsalvae meist so tief, dass ihre Mündungen von den Klappen, wenn sie an die Wand angepresst sind, gedeckt werden. Dadurch wird der Bluteintritt während der Kammersystole mehr oder weniger verhindert, er findet während der Diastole statt. Durch das Eindringen von Blut in die erschlaffende Wand turgescirt das Herz wieder, es erfährt dadurch eine aktive Erweiterung, welche die Bluteinströmung in den Ventrikel während der Diastole begünstigt: Selbststeuerung des Herzens nach Brücke. Rüdinger und Ceratini zeigten, dass die Semilunarklappen sich niemals ganz an die Arterienwandung anschmiegen, es kommt also wohl nie zu einem vollkommenen Verschluss der Coronararterien, wie es die Theorie Brücke's voraussetzt.

Die Vorhöfe entleeren bei der Systole wohl niemals all ihr Blut. Man hat behauptet, dass stets ein kleiner Theil durch die Contraction auch rückwärts in das Venensystem getrieben werde, was bei krankhaften Verhältnissen den Venenpuls verursacht; doch zeigt die Vena

cava sup. keine Druckerhöhung gleichzeitig mit der Vorkammersystole im normalen Zustande. Die Vorhöfe besorgen die prompte Füllung des Ventrikels mit Blut unabhängig von der gerade herrschenden Spannung im Venensystem und den Verschluss der Atrioventrikularklappen (Ludwig). Die Vorhöfe wirken auch regulirend auf die Blutbewegung in den Venen, indem aus ihnen während der Kammerdiastole das Blut genommen wird, so dass, da sie während der Kammerdiastole ihr Lumen verkleinern, die Druckabnahme im Venensystem eine geringere und dadurch der Druck im Venensystem ein annähernd konstanter wird.

Herztöne.

Der Klappenschluss geschieht so rasch und mit solcher Energie, dass dadurch Töne entstehen, die man zu hören bekommt, wenn man das Ohr in der Herzgegend auf die Brust auflegt, oder ebenso, wenn man das Ohr mit dem freiliegenden, schlagenden Herzen eines Thieres bei geöffneter Brustwand durch das Stethoskop in Berührung setzt. Der erste Herzton, der am deutlichsten an der Stelle des Herzstosses zwischen der 5. und 6. Rippe gehört wird, ist mehr dumpf, andauernd; der zweite, am schärfsten im dritten Rippenzwischenraum, beiderseits vom Brustbeine, hörbar, ist kurz, klappend, hell: er entspricht der Diastole und ist mit dieser von gleicher Dauer. Der erste Ton entspricht der Systole der Kammern und hält so lange an als diese. Nach einer viel verbreiteten Meinung entsteht er durch das Erzittern der während ihres Verschlusses stark gespannten Klappenmembranen. Man hat ihn auch als Muskelgeräusch, das bei der Contraction des Herzmuskels entstehe, erklärt (Ludwig und Dogiel). Dass wirklich das Muskelgeräusch mit betheiligt sei, ergibt sich wohl daraus, dass man auch noch am ausgeschnittenen blutleeren, schlagenden Herzen den systolischen Ton hört. Höchst wahrscheinlich betheiligen sich beide Ursachen an der Tonerzeugung, denn führt man den Finger in das sich contrahirende Herz ein, so fühlt man während der Systole deutlich ein Erzittern der Klappen, wie es die erstgegebene Erklärung voraussetzt. Der zweite, der Diastole entsprechende Ton entsteht zweifellos vorwiegend durch den plötzlichen, klappenden Verschluss der Semilunarklappen der Arterien.

A. Heynsius glaubt die Ursache der Tonerzeugung an den Klappen in der durch die Klappeneinrichtung gesetzten Verengerung des Strombettes sowohl in Aorta als Pulmonalis gegeben. Er findet die Weite des Ostium aorticum zu der der Aorta mitten auf dem Sinus Valsalvae wie 1 : 1,8. Seine Ansicht begründet er durch die Beobachtung, dass an einer verengerten Stelle eines dünnwandigen Rohres bei genügender Stromgeschwindigkeit statt eines Geräusches ein Ton entstehen kann.

Die obigen Mittheilungen über Anlagerung des Herzens an der Brustwand, Herzstoss, Herztöne sind für die Pathologie und zwar vor Allem für die Diagnose der Herzkrankheiten von der allereinschneidendsten Bedeutung. Die Herztöne ändern sich, wenn eine der Klappen irgend eine Form- oder Elasticitätsänderung erfährt. Die Klänge verlieren ihre musikalische Bestimmbarkeit und werden zu blasenden, schnarrenden, kratzenden etc. Geräuschen. Die Veränderung des ersten Tones ist an eine Erkrankung der venösen, des zweiten an eine der arteriellen Klappen geknüpft. Es ist möglich, durch rechts- oder linksseitiges Auscultiren an der Brustwand die erkrankte Klappe noch näher zu bestimmen. Die Darstellung dieser Verhältnisse gehört in die allgemeine Pathologie. Schon eine einfache Betrachtung des staunenswerthen Mechanismus der Herzpumpe lässt uns aber erkennen, wie bedeutend

Fehler in den Ventilverschlüssen die Blutcirculation und damit alle Organfunctionen beeinträchtigen müssen.

Mechanische und chemische Einflüsse auf die Herzbewegung. Aerztliche Bemerkungen. — Die Herzbewegungen stehen nicht direct unter dem Einflusse des Willens, doch können wir sie modificiren durch willkürliche Veränderungen der Druckverhältnisse in den Lungen und damit im ganzen Brustraume. Ist der auf dem Herzen lastende Druck gering oder negativ, so geht die Ausdehnung des Herzens nach der Systole mit Leichtigkeit vor sich, die Raschheit und Stärke der Contraction nimmt aber gleichzeitig mit der Abnahme des Druckes ab. Bei kräftiger Inspiration wird durch die gesteigerte Ausdehnung der Lungen ihr Bestreben, sich zusammenzuziehen, und damit der negative Druck auf das Herz vergrössert.

Der gewöhnliche negative Druck in der Brusthöhle kann umgekehrt künstlich in einen positiven verwandelt werden, indem durch sehr starke Exspirationen mit aktiver Verkleinerung des Brustraumes die Lungen zusammengepresst werden. Die Blutbewegung in den Venen erfolgt vorzugsweise durch das Ansaugen des Brustraumes; herrscht in diesem aber statt des negativen ein positiver Druck, so wird das Blut nicht mehr angesaugt und staut sich dann in den Venen an. Wir sehen diese Störung des Blutlaufes sehr deutlich bei starken Hustenanfällen. Diese sind mit krampfhaften, heftigen Exspirationen verbunden, durch welche der Hustende durch Blutstauung in den Venen blau im Gesichte wird, die Hals- und Stirnvenen anschwellen. Dieser künstliche positive Druck in der Brusthöhle kann dadurch noch sehr gesteigert werden, dass man zuerst viel Luft in die Lungen saugt und dann, während die Stimmritze verschlossen wird, so dass keine Luft aus der Lunge entweichen kann, durch starke Ausathmungsbewegungen mit den Exspirationsmuskeln den Brustraum zu verkleinern strebt. Das Herz kann dadurch so zusammengepresst werden, dass es sich nicht mehr auszudehnen vermag. Es steht endlich still, Herztöne und Puls verschwinden. Bei Nachlassen des Druckes kommen die Herzbewegungen langsam wieder zurück.

Der Widerstand, welcher dem Herzen gegen die Austreibung seines Blutes entgegensteht, modificirt die Zahl und die Stärke der Contractionen des Herzens. Steigerung des arteriellen Drucks vermehrt die Zahl der Herzschläge. Im Allgemeinen sehen wir die Zahl und die Stärke der Herzschläge abhängen von dem Verhältniss der Herzkraft zu dem zu überwindenden Widerstande der Blutmasse (Vierordt). Wenn, wie z. B. bei Verblutungen, die Herzkraft schneller sinkt, als der Widerstand im arteriellen System, so können wir, trotz einer Minderung des Blutdrucks, eine Pulsbeschleunigung wahrnehmen.

Ausser den mechanischen Beeinflussungen der Herzcontractionen sehen wir diese auch noch unter dem Einfluss der chemischen Zusammensetzung des Herzmuskels stehen. Eine Reihe von Einflüssen, welche letztere stört, verändert oder vernichtet die Contractionsfähigkeit des Herzens. Es verhält sich hierin das Herz ganz analog den übrigen quergestreiften Muskeln. Dieselben Stoffe, die wir dort als Ermüdungsursache kennen lernten: Milchsäure und saure Salze, wie sie sich im Safte ermüdeter Muskeln finden, bewirken auch Ermüdung des Herzmuskels. Entziehung des Sauerstoffs, Ueberladung mit Kohlensäure, Erkältung heben wie einige narkotische Gifte die Bewegung des Herzens auf. Kalisalze, direct ins Blut gebracht, führen durch Herzlähmung momentan den Tod herbei. Für den Arzt ist die Einwirkung der Gallensäure auf die Herzthätigkeit wichtig. Schon ziemlich geringe Mengen davon im Blute verlangsamen und schwächen den Herzmuskel merklich. Hieraus erklärt sich die Pulsverlangsamung, die bei frischer Gelbsucht, die in Aufnahme von Galle in das Blut besteht, beobachtet wird (Röhrig). Auch hierin verhält sich das Herz ganz wie jeder andere quergestreifte Muskel, die alle durch Gallensäuren ermüden. Sauerstoffzufuhr und Erwärmung wirken umgekehrt. Die Aufnahme von frischem, normalem Lebersekrete eines Thieres in sein Blut bringt jedoch keine Einwirkung auf die Herzbewegung hervor (J. Ranke).

Im Allgemeinen sehen wir das Leben des Herzens an die gleichen Bedingungen der

Ernährung und des Stoffwechsels gebunden, wie das aller anderen Organe. Wie die übrigen quergestreiften Muskeln z. B. behalten auch die Fasern des Herzens, ausgeschnitten oder kurz nach dem Tode des Gesammtorganismus, noch für einige Zeit ihre Erregbarkeit. Die Herznerven (Ganglien) setzen noch ihre Thätigkeit fort. Darum pulsiren dem Blutkreislauf entzogene ausgeschnittene Herzen noch einige Zeit. Besonders lange thun das die Herzen kaltblütiger Thiere. Endlich ermüden sie, ihre Contractionen werden langsamer, schwächer. Die Zusammenziehungen der Kammern hören zuerst, endlich auch die der Vorhöfe auf. Durch directe Reizung (Berühren, Stechen, Electricität, Wärme etc.) lassen sich die Contractionen anfänglich wieder hervorrufen. Die Reize wirken leichter von der Innenfläche des Herzens aus. Namentlich durch Einspritzen warmen, geschlagenen Blutes in die Jugularis und von da in die Herzgefässe kehrt die erlahmende oder schon sistirende Herzthätigkeit wieder zurück.

Hier sind die Beobachtungen der Bewegung der Froschherzen in Gasen anzuführen, die mit den entsprechenden Versuchen über das Verhalten der Muskeln und Nerven in Gasen übereinstimmen. Am längsten ist das ausgeschnittene Froschherz in reinem Sauerstoff thätig, weniger lange in Stickstoff, Wasserstoff und in dem Vacuum der Luftpumpe (A. v. Humboldt u. A.); Kohlensäure und Schwefelwasserstoff etc. sistiren die Herzbewegung sehr schnell. Selbstverständlich muss bei solchen Versuchen das Herz vor Verdunstung geschützt sein.

Die eigentlichen Ursachen der automatischen, rhythmischen Thätigkeit des Herzens kennen wir nicht, wir wissen nur, dass der Ablauf der Herzthätigkeit bei Warmblütern an die Anwesenheit sauerstoffhaltigen Blutes in dem Kapillarsystem der Herzsubstanz geknüpft ist. Offenbar handelt es sich hier um die Erhaltung der normalen physiologisch-chemischen Constitution der Ganglien, Nerven und Muskelfasern, die bei Warmblütern nur unter der beständigen arteriellen Bluterneuerung bestehen kann. Bei Kaltblütern (Fröschen) sehen wir dagegen die Herzbewegung vom Blute stundenlang unabhängig vor sich gehen, wenn man alles Blut im Herzen durch 0,7% Kochsalzlösung ersetzt hat.

Wir sehen bei Temperaturen unter dem Gefrierpunkt des Wassers und über 30 bis 40° C. die Pulsationen der Froschherzen aufhören (Schelske, E. Cyon u. A.). Von jenen niedersten Graden bis fast an die angegebene obere Temperaturgrenze steigt die Contractionszahl des Froschherzens mit wachsender Temperatur. Eine Temperatur über 20 bis 30° C. vermindert die Stärke der Herzcontractionen, welche bei niederen und mittleren annähernd gleichbleibend ist. Ueber Temperaturreizung siehe noch im folgenden Paragraphen.

Die nervösen Bewegungscentren im Herzen.

Da das ausgeschnittene Herz, getrennt von allen Verbindungen mit den Centralorganen des Nervensystems, seine Thätigkeit noch fortsetzt, so muss es nervöse Centren seiner Bewegung in sich selbst tragen.

Bidder u. A. fanden in der Muskelsubstanz des Herzens, namentlich in der Vorkammerscheidewand und an der Grenze der Kammern und Ventrikel mikroskopische Ganglien, welche durch Nervengeflechte mit einander verbunden sind, und die man als Bewegungscentren des Herzens anspricht. Auch im Hohlvenensinus und an der Hinterwand der Kammer liegen Ganglien.

Der Beweis für die Thätigkeit der Ganglien bei der Herzpulsation wird vor Allem durch die vielfältig angestellten »Schnittversuche« am Froschherzen geführt. Nicht jeder Abschnitt des Herzens ist der rhythmischen Zusammenziehung fähig, sondern nur diejenigen, welche ganglióse Nervencentren enthalten. Diese pulsiren abgeschnitten fort, während die ganglienfreien Herzabschnitte, z. B. die Herzspitze, abgeschnitten in diastolischen Stillstand verfallen (Volkmann,

Bidder), sie machen auf directe momentane Reizung nur eine einmalige unrhythmische Contraction.

Die Versuche von Stannius, v. Bezold, Goltz u. A. bestätigen die älteren Angaben im Wesentlichen, und scheinen noch die weitere Thatsache zu ergeben, dass die Ganglien der einzelnen Herzabschnitte eine verschiedene Function haben. Die Ganglien in der Vorhofsscheidewand scheinen eine hemmende (cf. unter Vagus), die anderen Ganglien eine beschleunigende Wirkung auf das Herz auszuüben (cf. unter Sympathicus).

Die Hauptversuchsresultate, auf welche sich diese Annahme stützt, sind folgende:

Wird die Spitze von der Kammer des Froschherzens abgeschnitten oder abgebunden, so steht die Spitze still, die Kammerbasis pulsirt fort. Wird der Schnitt oder die Unterbindung zwischen der Kammer und Vorkammer geführt, so schlagen die Vorkammern ungestört weiter, während die Kammer entweder erschlafft, (diastolisch) stehen bleibt, oder wenigstens viel seltener schlägt, als die Vorkammer. Directe Reize lösen meist eine Anzahl rhythmischer Kammerbewegungen aus. Bei der Unterbindung der Einmündungsstelle des Hohlvenensinus in die rechte Vorkammer tritt für längere Zeit Stillstand des gesammten Herzens in Diastole ein, die Sinus pulsiren dagegen fort; unterbindet man nun die Atrioventrikulargrenze, so beginnt der Ventrikel wieder zu pulsiren (Stannius). Abschneiden an den betreffenden Stellen wirkt analog der Abbindung (v. Bezold). Goltz zeigte, dass diese Analogie um so deutlicher wird, wenn die Schnittführung mit Abhaltung des Luftreizes von der Wunde unter Oel geschieht. Der letzterwähnte Wiedereintritt der Ventrikelcontractionen scheint die oben angedeutete Annahme zu begründen, dass in den Vorhöfen bewegungshemmende, in dem Venensinus und den Ventrikeln dagegen die eigentlich rhythmischen Centren liegen. Vereint sollen letztere die hemmenden Wirkungen überwiegen, nach dem Abschneiden soll der mit den hemmenden Centren von den Sinus abgetrennte Rest der rhythmisch thätigen Ganglien nicht mehr im Stande sein, die Hemmung zu beseitigen. Im Allgemeinen ist deutlich, dass die einzelnen Herzabschnitte um so selbständiger in ihren rhythmischen Bewegungen sind, je mehr sie sich der Einmündungsstelle der Venen nähern. Mit Recht hat man darauf aufmerksam gemacht, dass sich die Mehrzahl der Erscheinungen nach Schnittversuchen erklärt, wenn man den eintretenden Herzstillstand von einer Verletzung und Reizung der zu den Vorhöfen tretenden hemmenden Vagusfasern ableitet (cf. folgenden Paragraph). Damit stimmt es überein, dass der Herzstillstand nach Unterbindung oder Abschneidung der Sinus nur ein vorübergehender ist.

Einwirkung der Wärme auf die Herzbewegung. — Von den Temperaturgrenzen, in denen die Herzpulsation überhaupt noch erfolgt, liegt die untere bei 0—1,8° oder 4° C., die obere bei 30—48° C. (S. 452). Die Zunahme der Pulsationen mit steigender Temperatur fand T. Lauder Brunton auch für das Säugethierherz, was für die Fieberlehre von Wichtigkeit ist. Der Vaguseinfluss auf das Herz (cf. unten) sinkt mit steigender Temperatur (Schelske), gegen die obere Temperaturgrenze der Herzbewegung fand Lauder Brunton die Vaguswirkung wieder zunehmen. Plötzliche Einwirkung höherer Temperaturen bewirkt auch am ausgeschnittenen Herzen noch die Erscheinung der Vagusreizung (E. Cyon). Wurde aber das Herz vorher sehr stark abgekühlt, so beschleunigt im Gegentheil die plötzliche Temperatursteigerung die Herzbewegung sehr bedeutend, schliesslich bis zum Stillstand in Systole (Tetanus). Dieser Beobachtung ganz entsprechend ist die weitere (Cyon), dass im Zustand des Herzstillstandes durch Wärmewirkung die Reizung am Sinus nicht mehr Stillstand (durch Vagusreizung) in Diastole, sondern in Systole hervorruft (nach Vaguslähmung). Nach J. M. Ludwig und Luchsinger können die durch Wärme gelähmten Herzganglien durch Abkühlung wieder erregbar werden, die hemmenden Elemente des Herzens (Vagus) sind der Hitze gegenüber resistenter als die bewegenden. Je stärker der intracardiale Druck, desto schwächer wirkt die Vagusreizung, da durch die Druckerhöhung die das Herz bewegenden Elemente gereizt werden, wie die oben erwähnte Zunahme der Herzpulse beweist.

Die Herznerven.

Ausser durch die im Herzen selbst gelegenen nervösen Bewegungscentren (Ganglien) wird die Herzbewegung auch durch das Geflecht der Herznerven beeinflusst, so lange noch die normalen Nervenbahnen zum Herzen bestehen. Das Herznervengeflecht stammt einerseits vom Nervus vagus, andererseits aus dem Hals- und obersten Brusttheil des Grenzstranges des Sympathicus. Den zum Herz tretenden Vaguszweigen mischen sich auch ursprünglich dem Nervus accessorius angehörige Fasern bei. Diese Nerven und ihre im verlängerten Mark und Rückenmark gelegenen Centren rufen, wie wir sahen, die Herzbewegung nicht selbst hervor, ihr Einfluss erstreckt sich auf Abänderungen der Rhythmik und der Stärke der Herzcontractionen.

Die Herzcontraction steht unter zwei entgegengesetzt wirkenden nervösen Einflüssen. Der eine, vom Vagus ausgehend, verlangsamt und hemmt bei stärkerer Einwirkung die Herzaktion in Diastole; der Vagus ist der Hemmungsnerv der Herzbewegung (cf. unter Hemmungsnerven); der andere beschleunigt die Herzbewegung und führt bei extremer Wirkung, besonders nach Ausschluss des Vagus-Einflusses, zum Stillstand des Herzens in Systole: beschleunigende Herznerven (z. Thl. Sympathicus). Beide Nervenarten, die den Herzschlag verlangsamenden, hemmenden (die Vagusfasern), sowie die excitirenden Nerven sind als regulatorische Nerven zu bezeichnen.

Auf mehrfachen Nervenbahnen werden normal dem Vaguscentrum (in der Medulla oblongata) reflectorisch Reize zugeleitet, welche den Vagus bei Säugethieren und Menschen beständig so weit erregen, dass er einen verlangsamenden Einfluss auf die Herzaktion ausübt. Nach der Durchschneidung des Vagus am Halse bei Säugethieren nimmt die Zahl der Schläge des Herzens, das nun von dem Centrum der reflectorischen Hemmung (Vaguscentrum) abgeschnitten ist, sogleich sehr bedeutend zu. Ed. Weber machte die Entdeckung, dass künstliche Reizung des peripherischen Vagusstumpfes die Herzbewegung wieder verlangsamt und starke Reizung zum Stillstand des Herzens in Diastole führt, wobei sich dasselbe mit Blut füllt. Nach einiger Zeit beginnt auch bei Fortdauer des Reizes, nach Vagusermüdung das Herz wieder zu schlagen. Auch während des Vagusstillstandes ist das Herz reizbar, örtliche directe Reizung des Herzens bewirkt eine meist einmalige rhythmisch verlaufende Herzaktion.

Waller und Schiff behaupten, dass die herzhemmenden Fasern dem Vagusstamm aus dem N. accessorius beigemischt seien. Einige Tage nach dem Ausreissen derselben (im Foramen jugulare) zeige der Vagusstamm, dessen hemmende Fasern auf diese Weise gelähmt würden, keine hemmende Wirkung mehr auf das Herz, während der intakt gebliebene Vagusstamm der anderen Halsseite eine solche noch ungeschwächt erkennen lässt. Nach Heidenhain soll das Ausreissen der Accessoriusfasern, wie es die Annahme, dass sie die Hemmung besorgen, erfordern würde, meist von einer Beschleunigung der Herzthätigkeit gefolgt sein, wie das Durchschneiden des Vagusstammes selbst. Schiff bestreitet dagegen diese Beschleunigung.

Eduard Weber, der Entdecker der Hemmung der Herzbewegung durch die

Vagusreizung, glaubte, im Gegensatz zu den regulatorischen Wirkungen des Vagus, die sympathischen Fasern, welche zu dem Herzen treten, als die eigentlich motorischen Herznerven auffassen zu müssen. Von dem Sympathicus sollten die Bewegungsimpulse ausgehen, welche von dem Vagus in ihrer Stärke und zeitlichen Aufeinanderfolge beeinflusst werden. Nach der Durchschneidung des Vagus fällt dieser regulirende Einfluss weg, und das Herz steht nun noch allein unter den eigentlich motorischen Nerveneinflüssen.

Durch A. von Bezold's Untersuchungen ist es festgestellt, dass im Halstheile des Sympathicus wirklich Fasern verlaufen, welche durch ihre Reizung die Herzbewegung beschleunigen. Reizt man den Sympathicus am Halse, so tritt eine Beschleunigung der Herzaktion ein, welche nur dann sich nicht geltend machen kann, wenn die Herzbewegung schon vorher aus inneren Reizursachen (nahezu) das Maximum ihrer möglichen Beschleunigung erreicht hat, wie das bei Kaninchen manchmal beobachtet wird. Ein Centrum excitirender Fasern für die Herzbewegung liegt nach A. von Bezold in der Medulla oblongata. Ihre Reizung bewirkt eine Beschleunigung der Herzschläge, wenn die nervöse Verbindung mit dem Herzen durch das Rückenmark, die zum Grenzstrang des Sympathicus gelangenden Rami communicantes, das Ganglion stellatum (erstes Brustganglion) und den Grenzstrang ungestört ist. Auch S. Stricker und J. Wagner leiten die beschleunigenden Nerven des Brustgrenzstranges aus dem Rückenmark ab. Bezold selbst und M. und E. Cyon haben die Existenz dieses Excitations-Centrums für die Herzbewegung wieder bewiesen, als es durch Ludwig's und Thiry's Beobachtungen bestritten wurde. Letztere zeigten, dass nach Durchschneidung aller Herznerven durch Reizung der Medulla oblongata eine Verengerung des arteriellen Strombettes bewirkt und in Folge davon durch Steigerung der Widerstände (cf. oben S. 451) die Herzbewegung beschleunigt wird. Man ist jedoch im Stande, diese Wirkung vom verlängerten Marke auf die Blutbahn dadurch aufzuheben, dass man die hier vor Allem in Frage kommenden Gefässnerven, die Nn. Splanchnici, durchschneidet. Auch dann tritt noch ohne Drucksteigerung eine Beschleunigung der Herzbewegung ein. Auch ist bei erhaltenen Splanchnicis der beschleunigende Einfluss der Reizung der Medulla oblongata ein stärkerer, wenn die Herznerven intakt, als wenn sie durchschnitten sind. Die wichtigsten Gefässnerven gehen erst unterhalb des zweiten Brustwirbels von dem Rückenmark ab. Bezold durchschnitt das Rückenmark über ihrem Abgang, und nun bewirkte die Reizung des oberen Rückenmarks-Endes zwar noch Beschleunigung der Herzaktion, aber keine Drucksteigerung mehr im arteriellen System.

Die excitirenden Nerven treten nach Bezold's Versuchen oberhalb des zweiten Brustwirbels vom Rückenmark zu dem Plexus cardiacus ab. Beim Kaninchen sollen sie nach Cyon durch das unterste Halsganglion und die zwei obersten Brustganglien des sympathischen Grenzstranges zum Herzgeflecht gelangen. S. Stricker und J. Wagner finden accelerirende Fasern schon im Halsmark. Sie durchschnitten bei ihren Versuchen über Sympathicusreizung den Grenzstrang an der 7. Rippe und präparirten ihn bis zur Ansa Vieussenii von allen Verbindungen mit dem Rückenmark los; die Reizungen der oberen Stellen waren wirksamer, als die der weiter unten gelegenen.

Die Reizung des Vaguscentrums geschieht normal direct oder reflectorisch. Der Sauerstoffmangel und die dadurch gestörte Ernährung bewirkt im Vagus-,

resp. Accessoriuscentrum einen Reizzustand, der die Herzbewegung verlangsamt, ja sie sogar für einige Zeit ganz aufheben kann (in Diastole). Diese Beobachtung kann man bei Unterbrechung des normalen Athmungsvorganges machen; dass hierbei nicht etwa sich ansammelnde Kohlensäure als Reiz wirkt, scheint daraus hervorzugehen, dass das Herz bei Athmung von Wasserstoff dieselbe Erscheinung zeigt. Zur Realisirung des Einflusses vom Vaguscentrum aus muss natürlich die Verbindung desselben mit dem Herzen, der Vagusstamm, intakt sein. Dasselbe Postulat gilt für die Demonstration der reflectorischen Erregung des Vaguscentrums in der Medulla oblongata. GOLTZ beobachtete zuerst einen reflectorischen Herzstillstand bei mechanischer Reizung der Baucheingeweide beim Frosch (Klopfversuch). Die Nervi splanchnici enthalten die Fasern, deren Erregung hierbei wirksam wird. LUDWIG und LOVÉN lehrten durch Reizung der verschiedensten sensiblen Nerven bei Warmblütern, v. BEZOLD, DONDERS u. A. durch Reizung des Vagus der einen Seite, BERNSTEIN durch Reizung des Bauch- und Halsstrangs des Sympathicus das Vaguscentrum reflectorisch erregen. Aus den BERNSTEIN'schen Beobachtungen geht hervor, dass der sympathische Grenzstrang durch die Rami communicantes Fasern an das Rückenmark abgibt, welche in diesem aufsteigend zum Vaguscentrum gelangen.

Verminderung des Erregungszustandes des Vaguscentrums und damit Beschleunigung der Herzaktion sah HERING reflectorisch durch Aufblasen der Lunge eintreten, so lange die Vagi nicht durchschnitten waren. Durch das Aufblasen glaubt HERING zunächst sensible Lungenfasern zu reizen.

Der Einfluss der Gemüthsbewegungen auf die Herzaktion besteht einerseits in einem momentanen Herzstillstand, der wohl vom Vagus aus (reflectorisch?) vermittelt wird; andererseits tritt bei Erschrecken, Angst eine Beschleunigung der Herzaktion ein, welche vielleicht durch plötzliche Verengerung der Arterien und dadurch gesteigerten Widerstand in ihnen hervorgerufen wird. Das primäre Erblassen der Haut bei Schreck zeigt, dass wirklich durch diese Ursache Arterienverengerungen eintreten können. Doch lässt die Erscheinung nach dem oben Gesagten verschiedene Deutungen zu.

Die Beschleunigung der Herzbewegung nach Vagusdurchschneidung, welche wirkungslos bleibt, sobald man alle das Vaguscentrum reflectorisch erregenden Nerven vorher durchschnitten hat (BERNSTEIN), zeigt, dass das Vaguscentrum beständig und zwar zunächst reflectorisch erregt wird. Jedoch braucht man sich diesen reflectorischen Erregungszustand nicht ununterbrochen tonisch vorzustellen. BEZOLD hat gezeigt, dass eine in mässig schnellem Rhythmus erfolgende Vaguserregung zur Einleitung der hemmenden Wirkungen genügt.

DONDERS und PRAHL bestimmten die Zeit, welche verläuft, bevor nach der Vagusreizung die verlangsamende Wirkung beginnt: Latenzstadium. Es gelang DONDERS, als Gegenstück zu der Zuckungscurve des Muskels eine Curve des Verzögerungsprocesses durch Vagusreizung zu construiren. Die Uebereinstimmung in dem Gesetze der nervösen Hemmung und der nervösen Erregung constatirte er noch dadurch, dass er das Gesetz der Verzögerung bei Vaguserregung übereinstimmend fand mit dem Gesetz der Zuckungen, welches PFLÜGER auf das Gesetz des Electrotonus (cf. diesen und Zuckungsgesetz) zurückführte. CZERMAK konnte an sich selbst den Vagus mechanisch durch Druck reizen, electrisch gelingt seine Reizung am Menschen leicht.

Der Vagus ist der trophische Nerv des Herzens; nach doppelseitiger Durchschneidung tritt Herzverfettung ein, welche H. EICHHORST auf den mangelnden trophischen Einfluss des Vagus bezieht.

Zur Anatomie der Herzganglien und -Nerven. — Die vom Plexus cardiacus abtretenden Nervenfäden treten bei Säugethieren unter das Perikardium und in das Septum ventric., wo sie in der Mitte der Muskelmasse verlaufen, unabhängig von der Gefässverbreitung. Doppelt conturirte Fasern sind meist nur spärlich vorhanden. Die Nerven sind in Verbindung mit Ganglienzellen, die aber nirgends makroskopische Ganglien bilden. Die meisten Ganglienzellen zeigen den Bau der sympathischen Zellen, sie sind unipolar, aus demselben Pole entspringt ausser der geraden Faser auch die ARNOLD-BEALE'sche Spiralfeder (cf. Sympathicus). Andere Zellen sind bipolar, und eine dritte Gattung sind die auch anderweitig

vorkommenden unipolaren Zellen in bipolarer Anordnung. Zwei birnförmige Zellen liegen hierbei in einer gemeinsamen Scheide, mit den flachen, dem Pole entgegengesetzten Seiten an einander gepresst. Von dem spitzen Ende tritt beiderseits die einfache Nervenfaser ab (SCHWEIGGER-SEIDEL). Was das Verhalten der Nerven zu den Ganglienzellen betrifft, so behauptete KÖLLIKER, dass der Vagus zu ihnen in keine Beziehung trete, dagegen hat BIDDER neuerdings die Ansicht vertreten, dass die Spiralfasern der Ganglienzellen des Herzens dem Vagus zugehören, während die geraden Fasern zur Ausbreitung in der Peripherie bestimmt seien. REMAK hat auch in der Herzmuskulatur (Herzohr des Kalbs) Ganglienzellenhaufen gefunden. FRIEDLÄNDER findet in jedem pulsirenden Muskelstückchen des Froschherzens Ganglienzellen. Andere Autoren geben dagegen aus der Herzmuskulatur negative Resultate an. Nach KÖLLIKER und KRAUSE endigen die Nerven im Herzen wie in willkürlichen Muskeln, indem die blassen, kernhaltigen Endfasern an die Muskelfasern herantreten (KÖLLIKER) und mit »motorischen Endplatten« (cf. Muskel) endigen (KRAUSE). Eine Endigung in den Muskelkernen, wie sie FRANKENHAUSER für die glatten Muskeln behauptete, konnte SCHWEIGGER-SEIDEL für das Herz nicht nachweisen. Im Perikardium und Endokardium finden sich Nervennetze analog denen in serösen Membranen, in der Bindegewebsschicht zwischen Endokardium und Muskulatur sind gröbere Nervenausbreitungen (SCHWEIGGER-SEIDEL, SCHMULEWITSCH).

Die sensiblen Fasern des Herzens — das Herz ist empfindlich — verlaufen beim Frosch im Vagus, bei den Säugethieren kommen noch andere sensible Fasern dazu, deren Bahnen wahrscheinlich im Splanchnicus sich finden (GOLTZ).

Zur Entwickelungsgeschichte. — Das Herz tritt nach der bisher geltenden Lehre zuerst als eine Verdickung der Faserwand des Vorderdarmes auf, welche von diesem sich ablöst und sich bald zu einem anfangs geraden Schlauche umwandelt. Nach SCHENK und OELLACHER geschieht diese Umwandlung in der Weise, dass sich die zum Herzen werdende Partie der Darmfaserwand an der Bauchfläche des Vorderdarms vom Drüsenblatte abhebt, in den Spaltungsraum des mittleren Keimblattes: die Perikardial- oder Herzhöhle hinein sich umstülpt und später zu einem geschlossenen Hohlgebilde abschnürt. Die Anlage ist also von Anfang an hohl, enthält aber in ihrem Innern lockere Zellmassen, von denen die peripherisch gelegenen zum Endokardium, die übrigen wohl zu den ersten Blutkörperchen werden. Auch die Perikardialhöhle enthält derartige lockere Zellenmassen, welche wahrscheinlich den Epithelbeleg des entstehenden Perikardiums liefern. Nach KÖLLIKER's und GASSER's neuen Untersuchungen gestaltet sich die Entstehung des Herzens wesentlich anders. Die Herzanlage erkennt man sehr früh bei Embryonen, an welchen erst 3—5 Urwirbel sich differenzirt haben. Am äussersten Rande der Parietalzone zu beiden Seiten des Kopfes entsteht das Herz zuerst in einer gedoppelten Anlage, in Gestalt zweier Röhren, welche je in die einen länglichen Hohlraum bildende »Parietalhöhle« eingeschlossen liegen. Langsam wachsen mit der nach der Ventralseite sich krümmenden Parietalzone des Embryo diese doppelten Herzanlagen einander entgegen und vereinigen sich erst in der Mitte, wenn sich im Embryo 11 Urwirbel gebildet haben. Diese primären Herzröhren bestehen aus einem Endothelrohr und einer dicken Umhüllung des Darmfaserblattes. Am Vorhof finden sich äusserlich Zotten.— Der anfangs gerade (gemeinsame) Herzschlauch entsendet aus seinem vorderen Ende zwei Arcus Aortae, während er auf der entgegengesetzten Seite zwei Venae omphalo-mesentericae aufnimmt. Anfänglich ist der Herzschlauch allseitig geschlossen, die ersten Blutzellen rollen in einer in die Herzhöhle ausgeschiedenen Flüssigkeit umher. Das noch geschlossene, aus Zellen bestehende Herz beginnt zu pulsiren, die Schläge folgen sich zuerst langsam in der Richtung vom Venenende nach dem Arterienende zu, also von hinten nach vorne. Beim Hühnchen ist die offene Verbindung des Herzens mit den Gefässen des ersten Kreislaufs schon am zweiten Tage hergestellt, in der Minute zählt man 40 Herzpulse. Die Entstehung des complicirten Baues des Herzens wird durch Krümmungen und Lageveränderungen des Herzschlauches eingeleitet. Zuerst krümmt sich das Herz der Länge nach und dreht sich etwas nach rechts. Der Ursprung der Aorten erweitert sich zum Bulbus Aortae, der Mündungsstelle der Venen

zu den Vorkammern und Herzohren. Gleichzeitig wird die Herzkrummung immer starker S-formig, der arterielle Theil wendet sich ganz nach rechts, vorn und oben, der venose nach links, hinten und unten. Der Schlauch des zusammengekrümmten Herzens ist noch einfach, durch leichte Einschnürungen sind Vorkammer, Bulbus Aortae und einfache Herzkammer von einander geschieden (Fig. 106).

Fig. 106.



Herz eines Kaninchenembryo, vergrossert, nach BISCHOFF, von hinten. a Venae omphalo-mesentericae, d rechte Kammer, e Bulbus Aortae, f sechs Aortenbogen, c Vorhof. b Auriculae.

Fig. 107.



Herz des Embryo von hinten gesehen. a gemeinsamer Venensinus. b linke, c rechte Auricula, g rechte, f linke Kammer, e Ohrcanal, h Truncus arteriosus. Nach BISCHOFF.

Sehr bald treten (KÖLLIKER) an der venösen Krummung zwei leichte, seitliche Ausbuchtungen auf, die Anlage der im Embryonalleben sehr stark entwickelten Herzohren, welche durch eine leicht verengerte Stelle (Ohrcanal) von dem Vorhof sich trennen. Nun nähert sich das Herz seiner bleibenden Form mehr und mehr an (Fig. 107), doch ist es im Innern noch ohne eine Andeutung von Scheidewänden, aus dem arteriellen (rechten) Abschnitt entlässt es einen einfachen Aortenstamm, in sein (linkes) venöses Ende tritt ein gemeinsamer Venenstamm, der die beiden Venae omphalo-mesentericae aufnimmt. Das Herz trägt den Typus des Fischherzens. Bei der Bildung der Herzscheidewände trennt sich der primitive Ventrikel durch eine hervorwuchernde Querwand in zwei Abtheilungen, der Venentheil des primitiven Herzens und die ursprünglich einfache Aorta trennen sich dagegen durch eine longitudinale mittlere Scheidewand in zwei Hälften. Vor Ausbildung der Scheidewände werden einerseits durch besondere Wachsthumsphänomene an der hinteren Seite des Herzens die rechte Kammer nach und nach in den Bereich des Vorhofs gezogen, andererseits erfolgt dasselbe auch bei der linken Kammer, indem sie in Verbindung tritt mit dem Truncus arteriosus, der anfänglich einzig und allein aus der rechten Kammer entspringt, wie der venöse Vorhof zunächst nur mit der linken Kammer in Verbindung steht. Mündet einmal in Folge der angedeuteten Verwachsungen die Vorkammer in beide Kammern und stehen diese auch beide mit dem Truncus arteriosus in Verbindung, so wird es verständlich, wie durch das oben angedeutete Hervorwachsen der Scheidewände in das Innere des Herzens sich dieses in die bekannten vier Hohlen und der Truncus arteriosus sich in Aorta und Pulmonalis zerfällen kann. In der siebenten Woche ist die Kammerscheidewand vollendet, so dass die Kammern mit zwei getrennten Oeffnungen in den Vorhof munden. Diese Oeffnungen sind anfänglich spaltartig (ECKER), begrenzt von zwei Lippen, den ersten Anlagen der erst im dritten Monat sich stärker ausbildenden venösen Klappen, deren Rander schon mit Muskelbalken der Kammerwand in Verbindung stehen. In der vierten Woche ist der Truncus arteriosus bei dem Menschen noch einfach. Gleichzeitig mit der Theilung des Truncus arteriosus, die primär durch eine longitudinale Wucherung der mittleren Arterienhaut zu Stande kommt, bilden sich die Semilunarklappen anfanglich als horizontal hervortretende halbmondformige Wulste der Media und Intima. Die Bildung des Septum atriorum beginnt erst nach Vollendung der Kammerscheidewand in der achten Woche. Von der Mitte der vorderen Wand der Vorkammer und vom oberen Rand der Kammerscheidewand erhebt sie sich zuerst als eine halbmondformige Falte. An der hinteren Vorhofswand bilden sich ähnliche Falten (Valvula Eustachii und V. foraminis ovalis), rechts und links an der Mündung der unteren Hohlvene (KOLLIKER). Doch ist bekanntlich die Scheidung der Vorhofe während der ganzen Foetalperiode keine vollkommene, sie communiciren durch die weite Oeffnung des Foramen ovale, das sich erst nach der Geburt schliesst. Die Aeste des Truncus venosus sind die späteren Vv. cava inferior und superior. Der gemeinsame Truncus venosus wird bei dem Wachsthum der Vorkammern in diese hineingezogen, indem seine Wandung zur Bildung der

Hinterwand der Vorkammer verwendet wird, so dass nun beide Cavae getrennt in die Vorkammer münden.

Die Lage des Herzens ist unmittelbar nach seiner Entstehung im Bereiche des Kopfes vor dem ersten Urwirbel (Vorläufer des ersten Halswirbels) in der Höhe der zweiten und dritten Hirnblase. Später rückt es in die Halsgegend und von da in die Brusthöhle herab, die es noch im ganzen zweiten Monat erfüllt. Von der achten Woche an erheben sich erst die Lungen, die vorher hinter der Leber lagen, neben dem Herzen. Das Herz, das primär mit seiner Längenaxe senkrecht stand, stellt sich nun mit seiner Spitze nach links.

Zur vergleichenden Anatomie. — Das Herz ist (GEGENBAUR) in seiner einfachsten Form ein muskulöser, aktiv beweglicher Theil des Gefässsystems. Das Herz der warmblütigen Wirbelthiere (Säugethiere und Vögel) verhält sich im Allgemeinen wie das des Menschen, im Einzelnen zeigen sich mannigfache Verschiedenheiten. Am einfachsten ist der bleibende Zustand bei den Fischen. Es besteht hier aus einer Kammer und einer Vorkammer. Es entspricht dem embryonalen Herzen der Säugethiere und behält auch seine ursprüngliche Lagerung am Kopfende bei. Das Herz liegt frei in der Perikardialhöhle, manchmal ist es mit ihr durch Sehnenfäden verbunden. Mit dem Auftreten der Lungen tritt nicht nur eine bedeutende Aenderung in der Anordnung der grossen Gefässstämme, sondern auch eine weitere Differenzirung im Bau des Herzens auf. Bei den Dipnoi (Lepidosiren) beginnt schon eine Trennung der Herzräume. Ein Maschenwerk von Muskelbalken bildet eine Art Vorkammerscheidewand. Unter den Amphibien ist die Scheidung der Vorkammer noch in ähnlicher Weise unvollständig wie bei den Dipnoi, bei den übrigen ist die Scheidung vollständig. Aus der Kammer entspringt ein muskulöser Arterienbulbus. Bei Lepidosiren beginnt derselbe sich durch zwei Längsfalten in zwei getrennte Räume zu theilen, bei den Amphibien ist diese Trennung vollendet. Das Herz der Batrachierlarven entspricht dem der Fische. Bei den Reptilien rückt das Herz in grössere Entfernung vom Kopf. Nicht nur die beiden Vorhöfe, sondern auch die beiden Kammern scheiden sich in einen rechten und linken Abschnitt, die bei den Krokodilen vollständig von einander getrennt sind. Wie bei den Amphibien ergiessen sich in den rechten, grösseren Vorhof die Körpervenen, in den linken die Lungenvenen. Die Scheidewand der Kammer wird zunächst durch ein Maschenwerk von Muskelbalken dargestellt, doch sind, wie BRÜCKE zeigte, mannigfache mechanische Einrichtungen vorhanden, welche die Unvollständigkeit der Trennung wenigstens theilweise ausgleichen, dazu gehört auch, dass die Kammerhälften sich nicht isochron zusammenziehen (bei Schildkrötenherzen). Die linke Herzkammer empfängt arterielles, die rechte venöses Blut. Der Arterienbulbus bleibt äusserlich einfach, im Innern hat er sich aber in mehrere Canäle differenzirt, so dass beide Kammern mit besonderen Arterien des Bulbus in Verbindung stehen. Die Klappen entsprechen denen des Säugethierherzens.

Die Selbständigkeit der Muskelzellen scheint im Herzen der verschiedenen Thiergruppen überall gewahrt zu bleiben. Von den quergestreiften Muskelzellen des Menschenherzens war oben die Rede. Bei Eidechsen, Amphibien und Fischen fand WEISMANN die Herzmuskulatur aus dicht an einander liegenden, langgestreckten, spindelförmigen, quergestreiften Zellen bestehen. EBERTH zeigte, dass auch bei den anderen Thiergruppen auch im ausgebildeten Zustand die Herzmuskulatur eine Zusammensetzung aus quergestreiften Zellen zeigt, wie sie schon längst in dem embryonalen Zustande des Herzens derselben bekannt waren. Bei den Teleostiern ist die Muskulatur des pulsirenden Truncus arteriosus eine glatte, während sie bei den übrigen Fischen und Batrachiern quergestreift ist (LEYDIG).

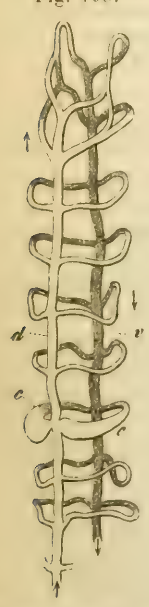
Ausser dem Herzen können auch noch andere Abschnitte des Gefässsystems quergestreifte Muskulatur besitzen: die peripherischen Herzen (LEYDIG). Myxine und Branchiostoma haben ein Pfortaderherz, bei letzterem findet sich auch ein Venenherz für das Lebervenenblut. Nach RETZIUS und J. MÜLLER sind auch die Anfänge der Kiemenarterien und die Aortenbogen contractil. Im Schwanz des Aals findet sich ein erweiterter pulsirender Sinus. Die rhythmischen Bewegungen der Venen in den Flügeln der Fledermäuse (W. JONES) und der grösseren

Arterien im Ohr des Kaninchens (SCHIFF) beruhen wohl auf Bewegungen glatter Muskulatur, die auch, wie wir oben sahen, der Pulsation fähig ist.

Vollkommen abweichend von dem Verhalten der Circulationsapparate der übrigen Wirbelthiere verhält sich Amphioxus. Ihm fehlt ein Centralorgan der Circulation, dagegen erscheinen alle grösseren arteriellen und venösen Gefässstämme rhythmisch-contractil, ohne dass hierin eine Stelle des, wie bei den übrigen Wirbelthieren in sich geschlossenen, Gefässsystemes vor einer anderen bevorzugt erscheint. Das Verhalten erinnert an die bei Würmern sich findenden Einrichtungen.

Ein Hauptunterschied zwischen dem Circulationscentrum der Wirbelthiere und Wirbellosen besteht darin, dass bei ersteren das Herz aus einem ventralen Abschnitt des Gefässsystemes entsteht, während bei den Wirbellosen das Centralorgan der Blutbewegung aus dem Dorsalgefässsystem oder einem Theile desselben sich bildet (GEGENBAUR). Doch findet sich bei den Tunicaten ein wahres Herz, das mit dem der Wirbelthiere gleiche Lage hat. Bei den niedersten Wirbellosen, Protozoën, fehlt mit einer dem Blute analogen Ernährungsflüssigkeit auch das Herz und die übrigen Kreislaufsorgane. Hier steht die Saftbewegung des Protoplasma, welche zum Theil durch allgemeine Körperbewegung und pulsirende Vacuolen angeregt wird, an Stelle der Circulation. Bei den Coelenteraten ist eine Trennung zwischen den Verdauungsrohren und den Blutgefässen noch nicht eingetreten, der im Magen gebildete Chymus wird direct durch Canäle oder taschenförmige Bildungen dem Körperparenchym zugeleitet. Man bezeichnet dieses gemeinsame Organ als: Gastrovascularsystem. Es steht dasselbe aber auch durch das dem Chymus beigemischte Wasser, das er mit ihm im Körper vertheilt, respiratorischen Zwecken vor. Auch bei den niedersten Würmern wird die Ernährungsflüssigkeit, ohne eigene Bahnen zu besitzen, durch endosmotische Vorgänge von dem öfters noch verzweigten Darmcanale (Planarien, Trematoden) direct den Körperorganen zugeführt. Auch bei den Räderthieren und Bryozoën fehlt noch ein Blutgefässsystem, die Ernährungsflüssigkeit findet sich frei in einer Leibeshöhle und wird durch die Contractionen des Körpers oder des Tentakelapparates in unregelmässige Bewegung gesetzt. Bei Polygordius tritt als Anfang eines Gefässsystems ein dorsaler Medianstamm mit meist blind endigenden Querästen auf. Bei den Würmern mit rothem Blute erscheinen einfache, doppelte und mehrfache Gefässstämme, welche sich abwechselnd bald füllen, bald zusammenziehen und dadurch das Blut in Bewegung setzen. Die Contraction der Gefässstämme schreitet peristaltisch vorwärts, wodurch in den Längsgefässen eine Kreisbewegung entsteht, bei den Hirudineen, bei denen die Hauptstämme lateral liegen, in horizontaler, bei den Lumbricinen u. a., wo die Hauptstämme oben und unten liegen, in vertikaler Richtung. Zu gleicher Zeit wird das Blut abwechselnd durch die Quergefässe von einer zur anderen Seite geworfen, indem der eine Stamm sich füllt, während der andere sich contrahirt, wie man das bei Hirudo vulgaris beobachtet hat (J. MÜLLER) (Fig. 108). Bei den Tunicaten hat, wie schon erwähnt, das Herz eine ventrale Lage, es erscheint als ein rundlicher oder länglicher Schlauch. Bei den Appendicularien bewegt es das erst frei in der Leibeshöhle circulirende Blut. Bei den Ascidien biegt sich beiderseits das Herz in je ein Gefäss um, die mit einem Lakunensystem, das den Leib durchzieht, in Verbindung treten. Bei Salpen findet sich dagegen ein ausgebildetes Gefässsystem mit dem Herzen in Verbindung. Bei allen Tunicaten ist die Richtung des Blutstroms eine wechselnde. Hat das Herz eine Anzahl von Pulsationen nach der einen Richtung ausgeführt, so tritt eine momentane Pause ein und die peristaltischen

Fig. 108.



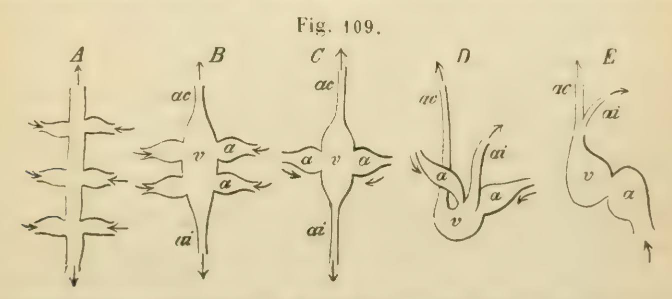
Vorderer Abschnitt des Blutgefässsystems einer jungen Saenuris variegata. *d* Dorsalgefäss. *v* Ventralgefäss. *c* Herzartig erweiterte Queranastomose. Die Pfeile deuten die Richtung des Blutstroms an.

Bewegungen des Herzschlauchs erfolgen nun in der entgegengesetzten Richtung. Dasselbe hat J. Müller bei Hirudo vulgaris beobachtet, ein und derselbe contractile Gefässstamm macht seine peristaltischen Bewegungen bald in der einen, bald in der anderen Richtung, so dass auch hier die Richtung der Blutbewegung abwechselt. Bei den Echinodermen zeigt der Kreislaufsapparat im Allgemeinen eine radiäre Anlage. Ein Ringcanal umkreist meist den Anfangs-, ein anderer den Endtheil des Darmcanals, beide werden durch einen contractilen Schlauch in Verbindung gesetzt, der als Herz functionirt. Von den Blutgefässringen treten radiäre Aeste ab. Ausserdem besitzen diese Thiere noch einen Gefässapparat, welcher mit dem Blutgefässsystem vielleicht in Verbindung steht, und dessen in die Augen fallendste Function in der Einführung von Wasser in den Körper besteht: Wassergefässsystem.

Bei den Arthropoden findet sich als Herz ein dorsaler contractiler Gefässstamm, der fortgesetzt nach ein und derselben Richtung das Blut bewegt, so dass ein Kreislauf aus arteriellen und venösen Strömen entsteht. Das aus dem Herzen in arteriellen Gefässen abströmende Blut ergiesst sich entweder durch ein Rudiment eines Hauptgefässstammes oder durch einige Hauptstämme sofort frei in die Leibeshöhle, oder es finden sich feine arterielle Verzweigungen und Kapillaren. Die venösen, zum Herzen zurückführenden Wege scheinen aber dagegen, auch wenn sie zu feineren, regelmässig vertheilten Canälen werden, besondere Wandungen zu entbehren und stehen mit dem Herzen nicht in directer Verbindung. Sie münden in einen das Herz umgebenden Blutbehälter, Perikardialsinus, aus dem das Blut durch spaltartige, meist paarig vorhandene Oeffnungen von verschiedener Zahl in das Herz zurücktritt.

Allen Mollusken scheint ein als Herz fungirendes Centralorgan des Kreislaufs zuzukommen, bei den Brachiopoden findet es sich aber an verschiedenen Ausschnitten des Gefässsystems. Analog wie bei den Arthropoden ist auch bei den Mollusken das Gefässsystem nicht ganz abgeschlossen, obwohl (Cephalopoden) kapillare Verzweigungen auftreten können. Doch tritt hier das Blut nicht durch Spalten, sondern durch wahre Gefässstämme, die das venöse Blut aus den Gewebslücken sammeln, in das Herz zurück. Bei den drei Abtheilungen der Otokardier ist das Herz in Kammer und Vorkammer geschieden und wird von einem besonderen Herzbeutel umschlossen. Der Kammer wird das Blut bald von zwei, bald von einer Vorkammer zugeführt, und sie entsendet es wieder der Hauptmasse nach durch einen dem Vordertheile des Körpers zulaufenden grösseren Arterienstamm, eine Aorta. Ein für die hinteren Körpertheile und Eingeweide bestimmter Arterienstamm entspringt entweder direct aus dem Herzen: Aorta posterior, bei den Lamellibranchiaten und Cephalopoden, oder er zweigt sich (Cephalophoren) von der Hauptaorta als Aorta posterior ab (Fig. 109).

Fig. 109.



Schematische Darstellung zur Vergleichung der Modificationen der Circulationscentren bei den Mollusken. *A* Theil des Dorsalgefässstammes und der Querstämme eines Wurmes. *B* Herz und Vorhöfe von Nautilus. *C* Herz und Vorhöfe eines Lamellibranchiaten oder Loliginen. *D* Dieselben Organe eines Octopus. *E* Herz und Vorhof eines Gasteropoden. *v* Herzkammer. *a* Vorkammer. *ac* Arteria cephalica. *ai* Arteria abdominalis. Die Pfeile deuten die Richtung des Blutstroms an.

Das Blut wird aus den Venenräumen zunächst den Athmungsorganen zugeleitet, von denen es zu dem Herzen zurückkehrt, so dass das Herz nur arterielles Blut erhält, es ist ein

Arterienherz. Das Herz der Gasteropoden stimmt im Bau gewissermassen mit dem Herzen der Wirbelthierembryonen und Fische überein. Der wesentliche Unterschied zwischen diesen Herzen ist aber, wie schon oben angedeutet, der, dass die letztbeschriebenen Herzen aus einem dorsalen Längsstamm sich entwickeln. Das Gefässsystem der Mollusken schliesst sich daher an das der Würmer mit dorsalem contractilen Gefässe an, und die sogenannte Kammer erscheint als differenzirter Abschnitt eines dorsalen Längsstammes, und die in denselben einmündenden Vorkammern sind modificirte Querstämme (GEGENBAUR).

Die Herzen erhalten ihre Fähigkeit, das Blut in einer bestimmten Richtung austreiben zu können, durch Klappeneinrichtungen. Bei den Wirbelthieren sind die Klappen meist einfache Duplicaturen des Endokardiums. Die starke Klappe im rechten Herzen der Vögel und des Schnabelthiers besteht dagegen aus quer gestreifter Muskulatur, ebenso die Klappe zwischen Sinus venosus und Vorhof bei Leuciscus und wohl auch bei anderen Fischen (LEYDIG). Das Krokodil besitzt rechterseits nur eine Atrioventrikularklappe, die an der Kammerscheidewand ansitzt, von der anderen Seite springt die Muskelwand in eine Leiste lippenförmig vor. Bei Fischen finden sich ausser den taschenförmigen, arteriellen Ventilen noch mehrere Reihen schmaler Klappenblättchen, deren Umschlagen nach hinten durch Sehnenfäden verhindert wird. Die klappenartigen Vorrichtungen im Herzen der Wirbellosen sind (LEYDIG) entweder auch Duplicaturen der Intima, hier und da mit Muskeln, oder es fungiren eigenthümliche zellige Gebilde als Klappen. So verrichten nach LEYDIG in der hintersten Kammer des Herzens der Larve von Corethra plumicornis sechs bis acht Paare gestielter, beweglicher Zellen die Dienste von Klappen. Sie stehen alternirend, eine etwas höher, als die andere, wodurch bei der Systole des Herzens je zwei Klappenzellen dicht hinter einander zu liegen kommen und das Kammerlumen vollständig absperren.

Zwölftes Capitel.

Die Blutbewegung.

II. Die Blutgefässe.

Nerveneinflüsse auf die Weite der Blutgefässe.

Aus dem Herzen wird das Blut, wenn der Blutdruck in den sich zusammenziehenden Herzkammern den Druck in der Aorta übersteigt, in die letztere eingepresst.

Arterien und Venen sind Röhren von cylindrischem Querschnitte mit mehr oder weniger dicken, sehr elastischen Wandungen, welche durch eingelagerte organische Muskelfasern die Fähigkeit erhalten, sich aktiv, durch nervösen Einfluss, zu verengern und zu erweitern. Wir haben also zwei Momente zu unterscheiden, welche auf den Durchmesser der Gefässlichtung von bestimmendem Einflusse sind: die Elasticität und die aktive Contractilität. Letztere ist bei den Arterien, namentlich denen kleineren Kalibers, viel entwickelter als bei den Venen. Auch den Kapillaren fehlt sie nicht.

Im normalen Zustande befinden sich die Gefässe unter einem ihre Weite regulirenden Einfluss der Gefässnerven. Cl. Bernard machte die Beobachtung, dass nach Durchschneidung des Halsstammes des Sympathicus sich die gesammten Gefässe der anliegenden Kopfhälfte erweitern. An den Ohren, besonders weisser Kaninchen, welche die Blutgefässe durchscheinen lassen, beobachtet man bei einseitiger Durchschneidung die eingetretene Erweiterung der Gefässe, die Röthung, die gesteigerte Wärmeabgabe in Folge der vermehrten Blutzufuhr direct im Vergleiche mit dem normalen Ohre der anderen Kopfseite. Ebenso wirken die Durchschneidungen der Gefässnerven an anderen Abschnitten des Gefässsystemes. Reizung, z. B. electrische, der peripherischen Enden der durchschnittenen Gefässnerven macht die Erweiterung wieder verschwinden und bringt eine Gefässverengerung hervor, die von einer Verminderung der Wärmeabgabe begleitet ist.

Während des Lebens sind die nervösen Beeinflussungen der Gefässe sehr wechselnd. Sie sind es vor Allem, wodurch die Blutvertheilung im Körper je nach dem Bedürfniss der Organe geregelt wird. Organen, welche eine gesteigerte Blutzufuhr bedürfen, wie den arbeitenden Muskeln, secernirenden Drüsen, dem schwangeren Uterus, dem Ovarium während der Eireife wird eine grössere Menge Blut zugeführt. Man weiss, dass von sensiblen Organ- und Hautnerven

aus reflectorisch eine Erregung auf die Gefässnerven ausgeübt werden kann. Wir sehen bei Reizen, die die äussere Haut treffen, z. B. durch Kälte, zuerst durch reflectorische Wirkung der Gefässnerven eine tetanische Contraction und Verengerung der Hautgefässe eintreten, welche von einer secundären Erweiterung gefolgt wird in Folge der Ermüdung der Gefässmuskulatur. An der Haut des Menschen lassen sich diese beiden Zustände durch die eintretende Blässe oder Röthung, welch' letztere mit gesteigerter Wärmeabgabe verbunden ist, direct beobachten. Aehnliche reflectorische Einwirkungen auf die Gefässnerven müssen wir auch bei den arbeitenden Drüsen annehmen; so erfolgt ein Reflex von den sensiblen Nerven der Magenschleimhaut, welche durch die aufgenommenen Nahrungsstoffe mechanisch oder chemisch erregt werden, auf die motorischen Nerven der Gefässe ihrer Drüsen, wodurch letztere erweitert werden. Andererseits häufen sich, in Folge der Arbeitsleistung der Organe, Zersetzungsprodukte (ermüdende Stoffe) in diesen an, welche durch ihre chemische Wirkung als Säuren oder Alkalien direct die in den Organen verlaufenden Nerven in ihren Lebenseigenschaften beeinflussen. Als Gefäss erweiterndes Moment ist vor Allem noch die gesteigerte Temperatur bekannt. Dass auch psychische Alterationen vom Gehirne aus auf die Gefässnerven wirken können, beweist die Blässe des Schreckens und umgekehrt die Schamröthe. LUDWIG und CYON fanden, dass beim Kaninchen die Reizung gewisser sensibler (centripetaler) Nerven ganz besonders im Stande ist, die tonische Contraction der Gefässe herabzusetzen oder aufzuheben. Man nennt diese Nerven oder Nervenfasern depressorische. Sie sammeln sich bei Kaninchen und Katzen in einem Vaguszweig: Ramus depressor. Doch sollen auch in dem Vagusstamm depressorische Fasern verlaufen. Auch im Laryngeus superior und im Halssympathicus verlaufen depressorische Fasern, welche reflectorisch die Gefässspannung steigern (AUBERT und RÖVER). Beim Kaninchen verläuft der Ramus depressor zwischen Vagus und Sympathicus frei am Halse, er entspringt gewöhnlich zweiwurzelig aus dem centralen Ende der Laryng. s. und dem Vagus, sein weiterer Verlauf bis zum Plexus cardiacus ist verschieden. Bei Hund und Mensch kommen analoge Aestchen innerhalb der Vagusscheide vor (KREIDMANN).

BUDGE beobachtete, dass durch electrische Reizung desjenigen Gehirntheils, in welchem der Pedunculus cerebri liegt, alle kleineren Arterien des Körpers sich verengern und der Blutdruck steigt (cf. Gehirn). Aber auch in der Medulla oblongata scheint ein Centralorgan der vasomotorischen Nerven zu liegen, welches von jener Gehirnstelle aus, in deren Nähe auch das Reflexcentrum liegt, angeregt werden kann. C. DITTMAR begrenzt das vasomotorische Centrum auf das Ursprungsgebiet der Nn. faciales. Nach den Beobachtungen LUDWIG's und THIRY's bewirkt seine Reizung, so lange Rückenmark und Sympathicus unverletzt sind, eine Verengerung sämmtlicher feineren Arterien mit Erhöhung des Blutdrucks in den Arterienstämmen und Erweiterung des Herzens. Da Durchschneidung der vasomotorischen Nerven die Arterien erweitert, so müssen wir uns dieses Centralorgan in einer beständigen (tonischen), in ihrer Intensität aber schwankenden Erregung denken. Auf die Durchschneidung des Rückenmarks in der Cervicalgegend folgt eine allgemeine Erschlaffung aller Arterien, so dass dann alle Gefässnerven durchschnitten erscheinen. Man nimmt vielfach an, dass die beständige Erregung des Gefässnervencentrums durch die Kohlensäure des

Blutes ausgeübt wird, da man bei erstickenden oder mit Kohlensäure vergifteten Thieren eine regelmässig intermittirende Ab- und Zunahme des Blutdrucks in den Arterien eintreten sieht (THIRY und L. TRAUBE). Nach SCHLESINGER gehen auch Gefässnerven direct vom Rückenmark aus.

Aerztliche Bemerkungen. Allgemeine Contraction der Korperarterien tritt im Fieberfrost ein, wohl durch Reizung des vasomotorischen Centrums. Geht in Folge gewisser Erkrankungen die Contractilität der Arterie verloren, so dass diese in eine mehr oder weniger starre Röhre verwandelt wird, so wird dadurch die Ernährung der von ihr versorgten Korpertheile meistens bald beeinträchtigt, da die Zufuhr von Blut nun nicht mehr einem vorübergehend gesteigerten Stoffwechselbedürfniss entsprechend vermehrt werden kann.

Die aktive Contractilität der Arterien ist am Puls nicht betheiligt, wenn wir von den spontanen Bewegungen der Arterien im Kaninchenohr (SCHIFF, cf. S. 460) und den analogen Vorkommnissen absehen, doch sehen wir nach dem Aufhören der Herzbewegung eine aktive Entleerung der Arterien in die Venen eintreten (v. BEZOLD), worauf die Leere der Arterien in der Leiche beruht. Diese Contractionen erfolgen wahrscheinlich auf Reizung des vasomotorischen Centrums durch das vor dem Aufhören der Athmung venös gewordene Blut.

Die vasomotorischen Nerven verlaufen theils im Sympathicus, theils aber auch in spinalen Bahnen. Im Halsstrang des Sympathicus verlaufen die Gefässnerven der Kopfhaut, der Conjunctiva, der Speicheldrüsen (BERNARD). Von den Rami communicantes des Sympathicus gehen die Gefässnerven für die unteren Extremitäten in die vorderen Wurzeln der Rückenmarksnerven ein (BERNARD, PFLÜGER). Für die oberen Extremitäten verlaufen sie nach E. CYON in den mittleren Dorsalwurzeln zum Grenzstrang, von da zum ersten Brustganglion und gelangen durch die Rami communicantes zum Plexus brachialis. Der Gefässbezirk der Baucheingeweide, welcher so erweiterungsfähig ist, dass er fast die gesammte Blutmenge des Korpers, z. B. nach Pfortaderunterbindung, beherbergen kann, erhält nach der Entdeckung BEZOLD's seine Nervenfasern jederseits vom Splanchnicus, der also der wichtigste Gefässnerv ist. Reizung der Nervi erigentes bringt am Penis eine Erweiterung der Arterien hervor. Die Reizung des Splanchnicus bewirkt wie jede Steigerung des Blutdrucks (cf. S. 451, 464) eine Vermehrung, seine Durchschneidung, wie die Durchschneidung des Rückenmarks dagegen aus dem entgegengesetzten Grunde Verminderung der Pulsfrequenz (LUDWIG). Nach BROWN-SÉQUARD entspringen die vasomotorischen Nerven des Herzens, der Lungen und der haupsächlichsten Eingeweide des Unterleibs nicht von der Medulla oblongata, sondern von der Brücke und den oberhalb derselben und um sie herum gelegenen Hirntheilen. Die vasomotorischen Nerven der Lungen verlaufen nach demselben Autor nicht im N. vagus, sondern durch das Cervicalmark und das erste Ganglion thoracicum des N. sympathicus (cf. Gehirn).

Der anatomisch-physiologische Bau der Blutgefässe.

Der Bau der Gefässe hat zweien sich scheinbar widersprechenden Aufgaben zu dienen. Es muss das Blut zuerst vom Herzen aus in geschlossenen Röhren den Organen zugeleitet werden. Bis dorthin, wo es seine Functionen zu erfüllen hat, darf es mit den Geweben in keinen Diffusionsverkehr kommen, da es sonst durch Abgabe und Aufnahme von Stoffen für den Ernährungszweck untauglich geworden wäre, schon ehe es den Ort seiner eigentlichen Bestimmung erreicht. Die lebende Wand der grösseren und grössten Gefässe muss daher für Flüssigkeiten ganz undurchgängig sein, wenn es diesem Leitungszweck genügen soll. Dies ist vollkommen der Fall. Die Wände der grösseren Gefässe sind so vollkommen undurchlassend für Blutbestandtheile, dass sie, die beständig von Blut durchströmt werden, noch besondere Gefässe für ihre eigene

Versorgung mit Blut bedürfen; es sind dieses die Vasa vasorum, die Blutgefässe für die Blutgefässwände, die wir bis herab zu sehr kleinen Gefässen noch nachweisen können. Ebenso ist es bei dem Herzen, das, während es fort und fort von der gesammten Blutmenge durchsetzt wird, doch eigener Gefässe bedarf, die seine Muskulatur mit dem für ihre Aktion nothwendigen Blute versorgen. Erst wenn die Gefässe den Ort ihrer directen Bestimmung in den Kapillarbezirken erreicht haben, bekommen ihre Wände die ihnen jetzt für Erfüllung ihres Ernährungszweckes unerlässliche Eigenschaft, den Wechselverkehr der Blutflüssigkeit mit den Flüssigkeiten der Gewebe zu gestatten.

Diese Eigenschaft kommt den **Kapillargefässen** zu, deren Wände, selbst aus Zellen entstanden, sich wie Zellenprotoplasma verhalten. Die Kapillaren sind (Stricker) Protoplasma in Röhrenform. Damit stimmt es überein, dass sie sowohl bei jugendlichen als erwachsenen Individuen contractil sind. Stricker sah die Kapillaren der Froschlarven und der Nickhaut des erwachsenen Frosches sich aktiv soweit verengern, dass kein Blutkörperchen mehr eintreten konnte. Es ist gelungen, die Grenzen der die Kapillarwandung zusammensetzenden Zellen sichtbar darzustellen. Letztere sind platt, oft zackig gerandet, kernhaltig. Sie sind bald mehr spindelförmig, bald mehr polygonal. Bei den feinsten Kapillaren bildet nur eine einzige mit ihren eigenen Rändern sich ringförmig berührende Zelle je eine Strecke der Wand. An weiteren Gefässchen sieht man 2—4 Zellen sich zu Wandbildungen vereinigen. Diese Zellen entsprechen anatomisch dem Endothel der grösseren Gefässe. Man könnte also sagen, dass die Kapillaren nur aus Zellen, die in gewissem Sinne dem Endothel ähnlich sind, bestehen. Es besitzen sonach alle Gefässe ein analog gebildetes Zellenrohr: Tunica intima, Endothelrohr (His), das bei den stärkeren Gefässen noch von anderen Gewebsschichten aus bindegewebigen, elastischen und muskulösen Elementen umlagert wird: äussere Umhüllungshaut (Eberth). Das Protoplasma ist unter gewissen, oben S. 132 angegebenen Bedingungen für Flüssigkeiten durchlässig. Der Flüssigkeitsverkehr zwischen Kapillaren und Gewebe beruht jedoch nicht hierauf allein. Cohnheim, J. Arnold u. A. haben in dem Endothelrohr normal kleine, bei pathologischen Zuständen (Oedem, Entzündung) sich erweiternde präformirte Oeffnungen: Stomata (Stigmata) nachgewiesen, durch welche eine offene Communication zwischen Kapillareninhalt und den feinsten Hohlräumen des umgebenden Gewebes (cf. Lymphgefässwurzeln und Diapedesis S. 424) hergestellt wird.

An den **grösseren Gefässen** unterscheidet man drei Hauptschichten: eine innere, mittlere und äussere Haut. Die Tunica intima, die innerste Schicht, besteht aus dem Endothelrohr, welches nach aussen bei grösseren Gefässen von einer bindegewebigen Lage: innere Längsfaserhaut, bekleidet ist. Den Verlauf ihrer Elemente deutet ihr Name an. Nun folgt eine elastische Membran, die noch zur Innenfläche gerechnet wird: elastische Innenhaut. Die mittlere Schicht der Gefässwand, Tunica media, wird auch als Ringfaserschicht bezeichnet, da ihre Elemente vorwiegend eine quere Lage haben, die Peripherie des Gefässes umkreisend. Hier finden sich vor Allem die organischen Muskelfasern. Auf ihrer Aussenfläche bilden elastische Elemente bei den Arterien oft eine ziemlich deutliche Schicht: Henle's äussere elastische Haut. Die Tunica adventitia, die äussere Gefässhaut, hat wieder vorwiegend Längsfasern

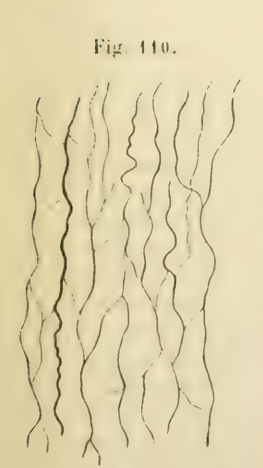
und besteht meist nur aus lockigem Bindegewebe und elastischen Faserzügen und Netzen.

Die elastischen Elemente der Gefässe zeigen sehr viel Mannigfaltigkeit. Es kommen hier die bekannten feinen elastischen Fasern vor, wie sie sich sonst in dem gewöhnlichen lockigen Bindegewebe durch ihre scharfen Umrisse und starkes Lichtbrechungsvermögen kennzeichnen. Oft sehen wir diese Fasern zierliche Netze bilden. In vielen Fällen sind die Fasern sehr breit geworden, die Maschenräume der Netze dagegen eng. Nimmt die Breite der Fasern im Verhältniss zu den Maschen noch weiter zu, so bekommt das Geflecht das Ansehen einer durchbrochenen Haut, einer gefensterten, elastischen Membran. An einzelnen Stellen verschmelzen die Fasern zu wahren, homogenen, elastischen Membranen (Fig. 110, 111).

Ueber Lymphgefässe in den Gefässen cf. oben. Mit Ausnahme der Kapillaren sind in der Wand aller Gefässe Nerven nachgewiesen, die sich unter der Adventitia in ein oft sehr feines Netz auflösen. Auch Ganglienzellen kommen in den gröberen Nervennetzen vor, Lehmann entdeckte sie an der Cava inferior des Frosches.

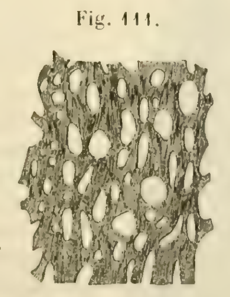
Die mittelstarken **Arterien** haben als allgemeine Eigenschaft eine sehr bedeutende Dicke der Media, die in viele regelmässige Schichten zerfällt. Bei den kleinsten Arterien unter 0,4—2 mm besteht die Media aus vorherrschend querlaufenden Muskelfasern. Bindegewebe und elastische Fasern fehlen in ihr. Unter dem Epithelrohr folgt (Frey) eine gefensterte elastische Membran (Fig. 112). Je feiner die Arterien werden, desto zarter wird die Schich-

Fig. 110.



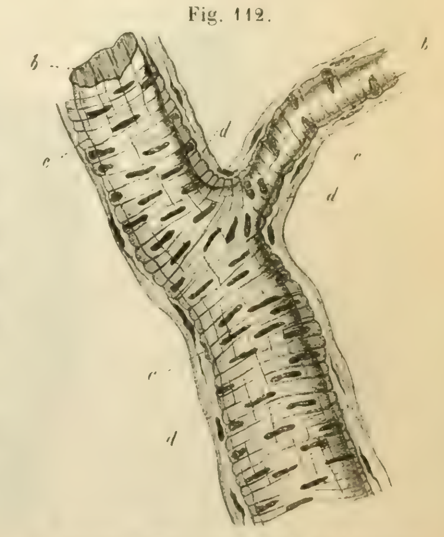
Netz feiner elastischer Fasern aus dem Peritoneum eines Kindes, 350mal vergr.

Fig. 111.



Elastische Membran aus der Tunica media der Carotis des Pferdes, 350mal vergr.

Fig. 112.



Ein arterielles Stämmchen. Bei *b* die homogene, kernlose Innenschicht; *c* die aus contractilen Faserzellen gebildete mittlere; *d* die bindegewebige äussere.

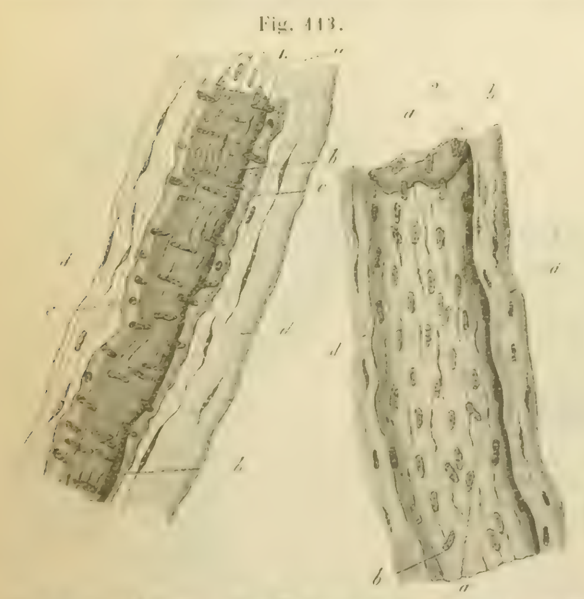
tung. Noch in Gefässen von 0,15—0,02 mm Durchmesser findet sich ausser dem Epithel wenigstens eine Lage contractiler Elemente. In den mittelstarken Gefässen mischen sich mit

den immer mächtiger werdenden Muskellagen elastische Netze und Bindegewebszüge, wodurch eine sich mehr und mehr ausbildende Schichtbildung in der Media entsteht. Die Adventitia ist meist mächtiger als die Media entwickelt. Bei den stärksten Arterien erscheinen in der Ringfaserhaut elastische Häute, Platten und Netze, welche in vielen, bis 50 Schichten, mit den Muskelfasern abwechseln. Die muskulösen Elemente sind dabei relativ weit weniger mächtig, als in den mittleren und kleinsten Arterien, ihre Elemente sind klein und unentwickelt, so dass sie keine bedeutenden Verkürzungen erleiden können. Die Adventitia der grössten Arterien ist wieder weniger entwickelt, als die der mittelstarken, auch weniger scharf durch elastische Einlagerungen abgegrenzt.

Unter den querlaufenden Muskelfasern finden sich auch in den Arterien an vielen Stellen längsgerichtete. Insbesondere fand EBERTH die in ihrer Lage weniger fixirten grossen Gefässe wie die der Baucheingeweide des Menschen und der Säugethiere: Arteria lienalis, umbilicalis und dorsalis penis durch längsverlaufende Muskelbündel ausgezeichnet, welche meist der Adventitia angehören. Sie finden sich an Stellen besonders häufig, wo weniger fixirte Arterien spitzwinkelig von einem Stamme abtreten. Hier haben sie nach EBERTH wahrscheinlich die Aufgabe, das Gefässlumen offen zu erhalten, wenn durch starke Verengerung der Ausfluss des Blutes behindert wird.

Die **Venen** sind im Allgemeinen dünnwandiger als die Arterien und weniger reich an muskulösen und elastischen Elementen, daher schlaffer und weniger contractil. Am wenigsten verschieden ist der Bau der Intima, sie zeigt wie dort ein Endothelrohr, unter diesem bei stärkeren Venen auch längsstreifige Fasern und starke elastische Netze, die aber kein so deutlich hautartiges Ansehen bekommen. Die Venenklappen sind von der Intima überkleidete, aus der Media stammende Bindegewebslamellen, in welche auch elastische Elemente eintreten. Doch fehlen auch grösseren Venenklappen die Muskeln. Die Media der Venen hat verhältnissmässig weniger elastische Fasern und Muskeln, als die der Arterien. Es finden sich in der Media neben den querlaufenden meist auch längsgerichtete Muskelzüge (Fig. 113); die Ringmuskeln der Media bilden im Niveau der Klappe eine ansehnliche Verdickung, über derselben fehlen sie auf eine kurze Strecke (CADIAT). Die Media ist bei mittelstarken Venen ebenso relativ am mächtigsten, wie dieses auch bei den mittelstarken Arterien der Fall ist. Viel Bindegewebe mischt sich stets mit den Muskelzellen. Die Adventitia ist gewöhnlich die stärkste Lage und steigt in ihrer Mächtigkeit mit der Weite der Gefässe. Bei vielen Venen, besonders solchen der Unterleibshöhle, finden sich auch in ihr längslaufende Muskelfaserzüge eingelagert. Die feinsten Venen zeigen keine Muskellage bis zu einem Durchmesser von 0,04 mm, wo erst quergerichtete Zellen, die den Charakter der Muskelzellen annehmen, auftreten.

Fig. 113.



Zwei stärkere Gefässe aus der Pia mater des menschlichen Gehirns. 1. Ein kleiner arterieller Stamm, 2. ein venöser: *a*, *b* Innenschicht, *c* die mittlere, *d* die äussere Gefässhaut.

Die Venen lassen sich also in muskellose und muskulose eintheilen. Zu den ersteren sind nach Eberth zu rechnen. die Venen der Pia und Dura mater, die Breschet'schen Knochenvenen, die Venen der Retina, die untersten Abschnitte der in die Cava superior einmündenden Venen des Stammes, Vena jugularis interna und externa, die Vena subclavia und die Venen der mütterlichen Placenta. Die Lungenvenen haben quergestreifte Muskelfasern, welche beim Menschen bis zum Lungenhilus sich erstrecken, bei kleinen Säugethieren (Maus, Fledermaus, Ratte) bis zu den feineren Zweigen (Stieda, C. Arnstein). Sie stehen mit der Herzmuskulatur in physiologischer Verbindung und ersetzen die an den Lungenvenen fehlenden Klappeneinrichtungen.

Auf die Verschiedenheiten in der **Kapillaranordnung** kommen und kamen wir bei den speciellen Beschreibungen der Gewebe zu sprechen. Im Allgemeinen gilt das Gesetz, dass sich das Kapillarnetz den Gewebselementen anpasst. In die mikroskopischen Muskel- und Nervenfasern, in die Zellen- und Zellenabkommlinge treten keine Kapillaren ein. So kommt es, dass die Kapillarnetze je nach der Gestalt dieser Gewebseinheiten bald lang gestreckte, geradlinig verbundene Maschen, z. B. in den Muskeln und Nerven, bald rundliche, engere oder weitere Netze darstellten. Das Netz und damit die Blutzufuhr ist im Allgemeinen um so reicher, je lebhaftere Functionen der Organismus von einem Organe *fordert*, je lebhafter die Bewegung, Empfindung, Aufsaugung, Ausscheidung desselben ist. Sehr wichtig ist die Bemerkung E. H. Weber's, dass im Durchschnitt die Länge der Kapillarstrecke zwischen Arterienende und Venenanfang nicht mehr beträgt, als etwa 0,4 mm, mag nun das Kapillarnetz eine Gestalt haben, welche es will. Es ist also die Strecke, auf welcher das Blut mit den Organen verkehrt, stets nur eine sehr kurze. Die Thätigkeit der Blutkörperchen und der Blutflussigkeit ist auf einen sehr geringen Raum und auf eine sehr kurze Zeit beschränkt.

Cavernose Gefässe bilden sich dadurch, dass sich die Gefässwand auflockert und zu einem schwammigen Gewebe umgebildet wird, oder indem anastomosirende Ausläufer der Wand das Lumen mehr oder weniger durchsetzen. Durch zahlreiche, rasch folgende Anastomosen ungleich weiter Gefässe wird das Gleiche erreicht, die ursprüngliche Gefässwand wird dadurch auch zu dünnen Bälkchen und Blättchen, die einen bluthaltigen Hohlraum durchziehen. Bei den Arterien finden sich solche Bildungen selten, häufiger bei den Venen, bei denen hier und da Muskelbündel in die Balken mit eintreten. Die Bluträume sind vom Endothel ausgekleidet (Eberth).

Wandungslose intercelluläre Blutbahnen finden sich bei dem Menschen pathologisch bei der Wundheilung. Hier entstehen nach Thiersch feinere und grobere, wandungslose Bahnen zwischen den Granulationszellen. Anfänglich treten sie als ein Netz plasmatischer Canäle auf, in welche plasmatische Flüssigkeit aus der aufgelockerten Arterienwand eintritt, die auf analoge Weise wieder in die Venen zurückkehrt. Ein kleiner Theil dieser Intercellulargänge wird später zu wahren Blutgefässen, deren Wand durch Verschmelzung der die Blutbahn begrenzenden Zellen gebildet wird. Die Blutgefässe treten hier also zunächst als Intercellularräume auf.

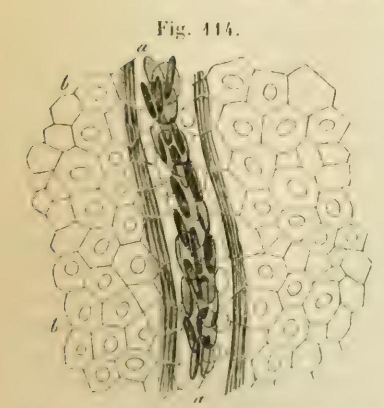
Zur Entwickelungsgeschichte. — Noch gegen Ende des ersten Brüttages leitet sich beim Hühnchen die Bildung der Blutgefässe und des Blutes ein, am zweiten Tage sind erstere als Rohren, das Blut selbst mit rother Farbe erkennbar. Die neu entstandenen Gefässe bilden ein dichtes, einschichtiges, engmaschiges Netz, an welchem ein Unterschied zwischen Aesten und Zweigen, abgesehen von der breiten Randvene, nicht wahrzunehmen ist. In diesem Netze springen rothgefärbte Stellen in die Augen: Blutinseln von verschiedener Form: rundlich, länglich, ästig, ja netzförmig. Die Blutinseln bestehen aus Anhäufungen gefärbter, kugeliger Zellen, welche theils fest im Parenchym eingeschlossen, theils einseitig an der Wand von Gefässanlagen sitzen, welche eben wegsam zu werden beginnen. Die Gefässanlagen bestehen nach Remak, Kölliker u. A. primär aus soliden strangförmigen Bildungen im Mesoderm der Area vasculosa, welche nachträglich hohl werden und die Endothelrohren der Blutgefässe bilden. Gotte glaubte dagegen, dass die Blutgefässe aus Lücken im Mesoderm

hervorgehen, in welche Zellen vom Keimwulst aus einwandern und sich zu Blutzellen gestalten. Seitlich an der Wandung der neu entstandenen Blutgefässhohlraume zeigen sich in unregelmässiger Lagerung reichliche Zellenanhäufungen, Verdickungen, Knotenpunkte, welche zuerst gelb, dann entschieden roth werden und dann die erwähnten Blutinseln oder Blutpunkte darstellen; sie sind nach Kölliker integrirende Theile der Gefässwand. Die gefärbten Zellen werden in der Folge zu rothen Blutzellen, lockern sich und treten alle in die Gefässröhren ein, die schon vorher ein helleres Plasma enthalten. Die Blutpunkte verschwinden, nachdem ihre gefärbten Zellen alle in die Blutbahn gelangt sind. Die Bildung der rothen Blutzellen findet sonach im Mesoderm der Area vasculosa und in der hintersten Gegend der Area pellucida statt. Kölliker hält es für ausgemacht, dass die eigentliche Embryoanlage selbst sich bei der ersten Blutzellenbildung nicht betheilige, das Herz enthält nach v. Bär zur Zeit seiner ersten Pulsationen nur eine farblose Flüssigkeit. Auch die ersten Blutgefässe bilden sich an den für die primitive Bildung der Blutzellen angegebenen Stellen; in der eigentlichen Embryonalanlage soll, abgesehen vom Herzen, gar keine selbständige Gefässbildung auftreten; die Gefässe entstehen aber als Sprossen der beschriebenen primitiven Gefässe (His); sie bilden zuerst solide dünne Stränge von eckigen oder spindelförmigen Zellen, verbinden sich netzförmig und werden von den primitiven Gefässen aus hohl.

Ganz anders gestaltet sich der Vorgang der embryonalen Gefässbildung nach Stricker und Affanasieff im Anschluss an die älteren Angaben von C. F. Wolff und Pander und im Gegensatz gegen Remak. Im Beginne des zweiten Brüttags sehen sie in dem mittleren Keimblatt der Hühneranlage isolirte Zellen, welche sich zu grösseren Blasen ausbilden. In diesen Zellenblasen entstehen entweder durch einfache endogene Zellenbildung oder durch eine Art innerer Knospung (Klein) die embryonalen kernhaltigen Blutkörperchen. Die Wände solcher aus Protoplasma bestehenden Blasen wachsen zu soliden, später hohlwerdenden Sprossen aus, mit denen sie unter einander in Communication treten und dadurch die Anlage des Gefässnetzes bilden. Die Complicationen, welche später die einzelnen Abschnitte des Gefässsystems zeigen, entstammen secundären Processen an der Aussenwand der ursprünglich überall aus einem soliden Protoplasmarohre bestehenden Gefässanlage. Auch die Kittsubstanzstreifen der Endothelien der Gefässe hält Stricker für spätere Differenzirungen.

Der Blutkreislauf unter dem Mikroskop.

Fig. 114.



Der Blutstrom in der Schwimmhaut des Frosches nach Wagner. *a* Das Gefäss; *b* die Epithelialzellen des Gewebes.

Wie wir die Bewegungen des Herzens am lebenden Organe mit freiem Auge beobachten konnten, so bringt uns das Mikroskop das Phänomen des Kreislaufes und der Blutbewegung direct zur Anschauung. Die Beobachtung desselben an den durchsichtigen Schwänzen von Froschlarven, an den Schwimmhäuten der Frösche oder an dem Mensenterium kleiner, durch Aether betäubter Säugethiere gehört zu den interessantesten Schauspielen, die uns die mikroskopische Beobachtung vorführen kann (Fig. 114). Ueber manche Einzelheiten des Kreislaufes erhalten wir damit sogleich eine deutliche Anschauung. Wenn wir einen grösseren Gefässbezirk mit einem Male überblicken, so zeigen sich sehr bedeutende Unterschiede in der Geschwindigkeit der

Blutbewegung in den verschiedenen Gefässchen. In einigen erblicken wir die rothen Blutkörperchen, deren Fortrollen uns den Strömungsvorgang anschaulich macht, wie wir die Strömung eines Flusses auch nach den in ihm schwimmenden Gegenständen bemessen, scheinbar mit grosser Raschheit durchgerissen. Diese Gefässe sehen wir sich spalten, in feinere Zweige sich auflösen, die sich endlich als wahre Kapillaren erweisen. Ihre Weite bietet nur noch für ein einziges Blutkörperchen Platz, so dass eines hinter dem anderen hindurchfliessen muss. Die Gefässe mit rascher Strömung sind Arterien, die vom Herzen her das Blut zu den Kapillaren führen. Die Venen lassen sich ebenso an der Richtung der Strömung erkennen, welche von den Kapillaren nach den Zweigen und Stämmchen führt. Dabei ist in ihnen die Blutgeschwindigkeit auffallend viel geringer und die Farbe des Blutes gesättigter, dunkler. Auch in den verschiedenen Kapillaren ist die Geschwindigkeit nicht ganz gleich. Man kann auf eine einfache Weise die Geschwindigkeit messen, wenn man unter dem Mikroskop mit einer Oculartheilung den Weg bestimmt, den ein Blutkörperchen während der Zeiteinheit einer Secunde zurücklegt. Durch die mikroskopische Vergrösserung erscheint der Raum, der durchlaufen wird, natürlich auch mit vergrössert, und damit die Geschwindigkeit. E. H. Weber bestimmte ihn im Durchschnitt etwa zu 0,4 mm oder etwas mehr in den Kapillaren von Froschlarvenschwänzen, so dass also jedes Blutkörperchen etwa in der Zeit einer Secunde seinen Kapillarraum durchlaufen hat (S. 469).

Noch andere Bewegungserscheinungen lassen sich wahrnehmen. In den kleinsten Arterien und Venen sowie in den Kapillaren zeigt sich die Strömung des Blutes ununterbrochen, gleichmässig. Nur in etwas stärkeren Arterienzweigen lässt sich eine Spur des Pulses nachweisen. Seine Kraft ist also in den feinsten Arterien durch die Widerstände schon verzehrt. Von dem Durchzwängen der Blutkörperchen durch Kapillaren, welche enger sind, als der Durchmesser der Blutkörperchen, von ihren Umbiegungen an scharfen Theilungswinkeln der Gefässe, von ihren passiven Gestaltsveränderungen etc. war schon die Rede (S. 389). In grösseren Gefässen schwimmen die rothen Blutkörperchen nicht in regelmässigen Abständen etwa reihenweise hinter und neben einander; man sieht sie vielmehr im bunten Tanz durch einander rollen. In etwas grösseren Gefässen sieht man mit voller Deutlichkeit, dass die rothen Blutkörperchen rasch in der Mitte des Gefässes strömen, ohne dass eines die Wand berührte; an jener schleichen langsam rollend weisse Blutkörperchen in einer farblosen Plasmaschicht hin. Es erscheint die Strömung in der Axe des Gefässes lebhafter, als an den Wandungen; man unterscheidet danach einen rasch fliessenden Axenstrom und einen langsameren Wandstrom. Man ist, wie unten gezeigt werden soll, auch im Stande, den Blutlauf in den Kapillaren der eigenen Netzhaut zu beobachten. — Der Durchmesser der Kapillaren beträgt durchschnittlich etwa 0,02—0,008 mm, bei den engsten nur 0,005 mm. C. Hüter beobachtete am Menschen den Blutkreislauf mit dem Mikroskop an der inneren Schleimhautfläche der Unterlippe: Cheilo-angioscopie.

Malpighi war der Erste, welcher das Strömen des Blutes in den Kapillaren direct beobachtete und damit die Entdeckung des Blutkreislaufes vollendete.

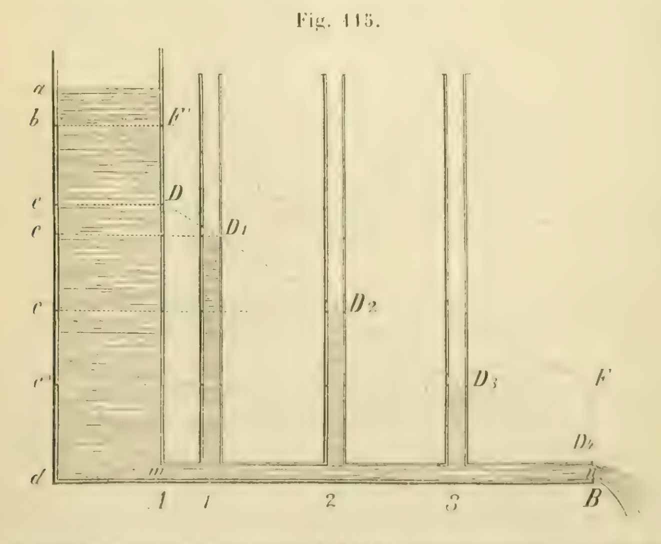
Flüssigkeitsbewegung in starren Röhren.

Die Gesetze der Flüssigkeitsbewegung in starren Röhren, soweit sie für die Physiologie von Bedeutung sind, ergeben sich aus den Untersuchungen von E. H. Weber, Volkmann, Jacobson, Poiseuille u. A.; wir setzen sie als aus der Physik bekannt voraus.

Eine Reihe von Erscheinungen treten bei continuirlichem Strome, wie er sich in den Blutgefässen findet, im elastischen Rohre ebenso wie in einem starrwandigen hervor. Unter einem gleichbleibenden Druck, wie er annähernd in den kleinen Arterien, Kapillaren und Venen herrscht, ist, abgesehen von der Eigencontraction der Gefässe und Kapillaren, die Wandausdehnung eine konstante. Man könnte, wenn man denselben Druck wie dort herstellen würde, ohne eine wesentliche Veränderung der hydraulischen Verhältnisse, starrwandige Röhren von der gleichen Weite an Stelle der elastischen eingesetzt denken. Auch in den Arterien können wir unter Umständen und für eine bedeutende Anzahl von Fragen von den periodischen Druckschwankungen absehen. Halten wir uns an den mittleren Druck, so gilt auch für sie das eben von den anderen Gefässen Gesagte.

In einer cylindrischen Röhre von gleichbleibendem Caliber fliesst bei gleichbleibender bewegender Kraft die Flüssigkeit durch jeden Querschnitt mit gleicher Geschwindigkeit. Mündet die Röhre frei an der Luft, so nimmt der Druck der Flüssigkeit D gegen die Wandung, welche durch eingesetzte Manometer gemessen werden kann (Fig. 115 D, D_1 — D_4) gleich-

Fig. 115.



mässig bis zu 0 = Atmosphärendruck ab: Gefälle. Die Druckhöhe in den Manometern ist der Summe der Widerstände entsprechend, welche der Strom der Flüssigkeit von der Stelle, an welcher das Manometer befestigt ist, bis zur freien Ausflussstelle noch zu überwinden hat. Diese Widerstände gipfeln in der inneren Reibung der Flüssigkeitstheilchen. Poiseuille und Jacobson constatirten, dass, analog den Beobachtungen am Blutstrom unter dem Mikroskop, bei Röhren von einigen Millimetern Weite, aber auch bei Kapillaren unter der Voraussetzung, dass die Röhrenwand von der strömenden Flüssigkeit benetzt wird, die Strömung nicht für alle Schichten der Flüssigkeit gleichmässig vor sich geht. Denken wir uns die strömende Flüssigkeit in der Röhre um eine mittlere Axe in Cylinderschalen herumgelegt, so bewegt sich der Axenfaden am geschwindesten, die ihn umlagernden Flüssigkeitscylinder von der Mitte der Röhre gegen die Wand zu mit abnehmender Geschwindigkeit, die Flüssigkeitsschicht, welche die Wand benetzt, soll in vollkommener Ruhe verharren. Es

schieben sich also die Flüssigkeitstheilchen mit verschiedener Geschwindigkeit an einander vorbei, wobei ein beständiges Trennen und Losreissen der an einander vorbei passirenden Theilchen stattfindet, wozu Kraft verbraucht wird. Dieser Kraftverbrauch entspricht dem inneren Widerstand. Mit der grösseren oder geringeren Cohäsion Zähigkeit der Flüssigkeitstheilchen zu einander steigt und fällt der innere Widerstand, Erwärmung z. B. vermindert daher den letzteren. Die Weite der Röhre, die grössere oder geringere Geschwindigkeit der Strömung sind, wie sich a priori ergibt, ebenso von Einfluss auf den zu überwindenden Widerstand. Je weiter die Röhre, desto geringer, je rascher die Strömung, desto grösser der Widerstand. Bei einem konstanten Strom fliesst in der gleichen Zeit durch jeden Querschnitt der Röhre die gleiche Flüssigkeitsmenge. Hat die Röhre, wie bei der Blutbahn, an verschiedenen Stellen verschiedene Weite, so strömt die Flüssigkeit daher in den weiteren Abschnitten langsamer, in den engeren rascher, im Allgemeinen ist hiebei also die Stromgeschwindigkeit umgekehrt proportional der Querschnittsgrösse des betreffenden Röhrenabschnitts. Auch der Druck nimmt an diesen Differenzen entsprechenden Antheil.

Hat der Strom an verschiedenen Stellen ungleiche Geschwindigkeiten, so bezeichnet man als seine mittlere Geschwindigkeit diejenige, welche an allen Stellen der Bahn gleichmässig herrschen müsste, wenn in der Zeiteinheit ebenso viel Flüssigkeit die Strombahn passiren sollte, als ihn, bei der ungleichen Geschwindigkeit an verschiedenen Stellen, wirklich passirt. Das Maass der mittleren Geschwindigkeit ist die in der Zeiteinheit aus der Querschnittseinheit ausgeflossene Flüssigkeitsmenge. Die mittlere Geschwindigkeit ist der in der Zeiteinheit ausgeflossenen Flüssigkeitsmenge = Gesammtstromstärke einfach proportional. Um die mittlere Geschwindigkeit zu finden, dividirt man die in Volumeneinheiten ausgedrückte ausgeflossene Flüssigkeitsmenge mit der Anzahl der Zeiteinheiten der Ausflusszeit und durch die Anzahl der Flächeneinheiten des Röhrenquerschnitts. Ist beispielsweise die in 10 Secunden ausgeflossene Flüssigkeitsmenge = 8000 Kubikmillimeter, der Röhrenquerschnitt = 4 □mm, so ist die mittere Stromgeschwindigkeit = 200 mm in der Secunde.

Es erscheint die mittlere Geschwindigkeit als das Produkt aus drei Faktoren: Röhrenquerschnitt, Gefälle und einem, je nach der verschiedenen Natur der untersuchten Flüssigkeit wechselnden, für eine Flüssigkeit in bestimmtem Zustande konstanten Coefficienten, der dem oben angedeuteten Vorgang der inneren Reibung umgekehrt proportional ist. Die mittlere Geschwindigkeit ist für dieselbe Flüssigkeit in dem gleichen Zustande proportional dem Flächenraum des Röhrenquerschnitts und dem Gefälle: Poiseuille'sches Gesetz.

Jacobson hat mit einem sorgfältig gearbeiteten Apparat den Einfluss untersucht, den das Eröffnen eines Zweigrohres an dem primären Ausflussrohr ausübt. Es ergibt sich, dass, wenn der Strom unter der Einwirkung des gleichbleibenden Druckes in der unverzweigten Röhre eine gleichmässige Geschwindigkeit angenommen hatte, diese Geschwindigkeit etwas vergrössert wurde, wenn man einen Seitenzweig zu dem primären Ausflussrohr eröffnete. Die vermehrte Geschwindigkeit gibt sich dadurch zu erkennen, dass aus den beiden Oeffnungen in der gleichen Zeit mehr Wasser ausfliesst, als aus der zuerst allein offenen einzigen. Der Winkel, unter welchem der Strom abgezweigt wird, übt keinen Einfluss auf diese Strombeschleunigung aus. Winkelbeugungen der Ausflussröhre zeigen überhaupt auf die Strombewegung wenig Einwirkung. Krümmt man die zuerst geradgestreckte Ausflussröhre knieförmig, so tritt nur ein geringer Verlust an Kraft und dadurch Verlangsamung des Stromes ein. Bildet der eine Zweigstrom die Verlängerung des Stammstromes, und geht der andere Zweig von der Hauptrichtung unter spitzem, rechtem oder stumpfem Winkel ab, so fliesst von der gesammten Wassermasse um so mehr durch den die Verlängerung des Stammstroms bildenden Stromzweig, je grösser der Winkel ist, unter welchem der andere Seitenstrom sich abzweigt. Das Verhältniss der mittleren Geschwindigkeiten in beiden Zweigströmen ist also je nach der Grösse des Verzweigungswinkels ein verschiedenes. Nennen wir die Geschwindigkeit in dem Stromzweig, der die Hauptrichtung beibehält, $= v_1$, die in dem winkelig ab-

gehenden Stromzweig $= r_2$, so ist das Verhaltniss $\frac{r_2}{r_1}$ nach den Untersuchungen JACOBSON's für einen Abzweigungswinkel von 30° = 0,782, für 45° = 0,719, für 90° = 0,615, für 135° = 0,573, für 150° = 0,564.

POISEUILLE und GRAHAM haben den Einfluss, welchen die Cohäsion der Flüssigkeit auf die Strömungsgeschwindigkeit ausübt, näher untersucht. Sie fanden, dass wässerige Lösungen von alkalischen Salzen durch enge Röhren (Kapillaren) schneller fliessen, als Wasser, dagegen vermehren Zusätze von gewissen Säuren und Alkohol zum Wasser seinen inneren Reibungswiderstand. Die innere Reibung ist bei Serum etwa doppelt, bei Blut etwa sechs mal so gross, als bei Wasser. In Krankheiten, bei welchen z. B. durch Abnahme des Wassergehaltes das Blut dickflüssiger wird, wird diese Grösse sich wesentlich ändern können und damit den Widerstand, die innere Reibung, vermehren oder im umgekehrten Falle vermindern, was auf die ganzen Circulationsverhältnisse von Einfluss sein wird.

Zur Berechnung hat man sich zu erinnern, dass der Umfang einer kreisrunden Röhre, die den Durchmesser d hat $= 3{,}14\,d$ ist; der Querschnitt, das Lumen der Röhre, ist dann $= \frac{3{,}14}{4} d^2$. Das Gefälle D ist $= h - f$, d. h. derjenige Theil der gesammten Bewegungskraft der strömenden Flüssigkeit, welche durch die Gesammtwiderstände verbraucht wird. In unserer Fig. 115 ist die Bewegungskraft repräsentirt durch die Höhe bd der Flüssigkeit in dem Druckgefäss; $bd = h$; $bc = D$; $cd = f$; $h = f + D$; $f =$ Geschwindigkeitshöhe, $D =$ Widerstandshöhe. D (Druck) wird an den verschiedenen Röhrenstellen direct durch eingesetzte Manometer gemessen.

Für die **Strömung durch Kapillarröhrchen** fand POISEUILLE folgende Sätze:

Alles andere gleichgesetzt sind

1) die Ausflussmengen proportional den Drucken;
2) die zum Ausfluss gleicher Flüssigkeitsmengen nöthigen Zeiten proportional den Längen der Röhrchen;
3) dagegen verhalten sich die Produkte des Ausflusses wie die vierten Potenzen der Röhrchendurchmesser;
4) die Stromgeschwindigkeiten sind den Druckhöhen und Quadraten der Durchmesser direct, der Länge der Röhrchen umgekehrt proportional;
5) die Widerstände sind den Stromgeschwindigkeiten direct proportional.

Flüssigkeitsbewegung in elastischen Röhren.

Fliesst in einer elastischen Röhre ein Flüssigkeitsstrom unter konstantem Drucke, so hat sich die Wandelasticität mit dem Drucke des Inhaltes bald ins Gleichgewicht gesetzt; die Ausdehnung der Wandung, der Querschnitt der Röhrenlichtung bleibt von da an konstant; die Bedingungen der Flüssigkeitsbewegung sind die gleichen wie in starrwandigen Röhren. Anders verhält es sich, wenn der Druck in dem elastischen Rohre von Zeit zu Zeit dadurch unregelmässig gemacht wird, dass Flüssigkeit in die schon gefüllte Röhre mit einer bestimmten Kraft und Geschwindigkeit eingepresst wird. Es ist dieses der Fall, welcher sich bei den elastischen, blutgefüllten Arterienröhren findet. Es entsteht durch das Einpressen eine durch das elastische Rohr hinschreitende Welle.

Diese Welle — Pulswelle der Arterien — zeigt eine Verschiedenheit von den Wellenbewegungen des Aethers, der Luft und eines ruhigen, grossen Wasserspiegels, der durch einen hereinfallenden Stein in Wellenkreisen bewegt wird. In den letztgenannten Fällen besteht die Welle nur in der Fortpflanzung eines Bewegungsvorganges, ohne dass die bewegten materiellen Theilchen am Ende ihrer Bewegung ihren Ort verlassen hätten. Die Welle erzeugt dort in sich geschlossene Kreisbewegungen der Flüssigkeitstheilchen. Die Wellenbewegung in unserem elastischen Rohre ist dagegen mit einer Ortsverrückung der

bewegten Flüssigkeitstheilchen im Sinne der Wellenbewegung verbunden, sie ist nach der Bezeichnung E. H. Weber's, dessen Studien über Wellenbewegung in jedem physikalischen Lehrbuche abgedruckt zu finden sind, eine Bergwelle. Nachdem die Welle den Schlauch durchlaufen hat und das Gleichgewicht wieder hergestellt ist, sind die sämmtlichen Flüssigkeitstheilchen nach der Richtung der Wellenbewegung um eine gewisse Strecke fortgeschoben. Den entgegengesetzten Vorgang nennt man Thalwelle. Doch ist die Vorwärtsbewegung, welche die Theilchen durch die Wellenbewegung erleiden, nur eine geringe, und die Fortpflanzung der Bewegung von einem Theilchen auf das nächstliegende Nachbartheilchen geschieht ebenso wie bei den erstgenannten Wellen. Es verläuft also die Welle durch die Flüssigkeit hin und dehnt die elastische Wandung in fortschreitender Weise aus, ohne dass wir uns vorstellen dürften, es entspräche diesem Fortschreiten der Welle ein ebenso grosses Fortschreiten der Flüssigkeitstheilchen. Letztere kehren, nachdem sie durch die Wellenbewegung aus ihrer Ruhelage gestossen wurden, zwar nicht vollkommen, aber nahezu wieder in diese zurück.

Bei dem rhythmischen Einpressen in die schon gefüllte elastische Röhre wird die Welle dadurch fortgepflanzt, dass die Flüssigkeit die Röhrenwand in einer gewissen Strecke ausdehnt und spannt. Der gespannte Theil der Wand bewegt nun die Flüssigkeit vorwärts, indem er auf sie drückt und dadurch wieder eine Ausdehnung der nächst vorderen Abtheilung der Röhre hervorbringt, da ein Ausweichen der Flüssigkeit nach rückwärts (durch den Klappenschluss beider Arterien) ausgeschlossen ist. Die elastische Wand presst auf ihren unzusammendrückbaren flüssigen Inhalt so, dass der Druck in der Richtung des Stromes vorschreitet. Sie zwingt dadurch die Flüssigkeit, etwas nach vorwärts auszuweichen und das nächstfolgende Röhrenstück auszudehnen. So läuft die Ausdehnung über die ganze elastische Röhre hin, wobei sich die hinter dem eben ausgedehnten liegenden Röhrenabschnitte wieder verengern. Es ist daraus klar, dass die Ausdehnung, welche die Röhre durch das rhythmische Einpressen von Flüssigkeit erleidet, keine überall gleichzeitige sein kann. Die Welle bedarf einer messbaren Zeit, um sich über eine Röhre zu verbreiten. An einem sehr elastischen Rohre mass E. H. Weber die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle zu 11472 mm in der Secunde. Die grössere oder geringere Spannung beeinflusst, wenn das elastische Rohr nur überhaupt von der Flüssigkeit gespannt ist, die Fortpflanzungsgeschwindigkeit nur wenig. Bergwellen und Thalwellen scheinen mit derselben Geschwindigkeit fortzuschreiten. Die Verschiedenheit in der Kraft, mit welcher die Welle erzeugt wurde, scheint ebenso wenig ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit zu beeinflussen. Bei Drucksteigerung verlängern und erweitern sich elastische Röhren, die Verlängerung ist etwa um 6 mal kleiner, als die Erweiterung. Bei starker Spannung der Röhre verschwindet die Wellenbewegung schneller, als bei schwacher Spannung. An mit Wasser mässig gefüllten Därmen sieht man mit blossem Auge die langsamen Wellen hingehen, reflectirt werden, Interferenzen bilden etc. Schaltet man an einer Stelle ein gleichweites Glasrohr ein und hat man in der Flüssigkeit Staubtheilchen (Kohle) suspendirt, so kann man an ihnen die Bewegung der die Stelle bildenden Wassertheilchen studiren. Man darf aber nicht ohne Weiteres die an Därmen beobachteten Erscheinungen auf die wesentlich anders gebauten Arterien übertragen.

Weber's Kreislaufsschema. — Eigenthümlich werden die Bewegungsverhältnisse der Flüssigkeiten in einem geschlossenen elastischen Röhrencirkel, in welchem wie bei dem wirklichen Kreislaufe an einer Stelle ein grosser Widerstand gegen die Bewegung, an einer anderen ein Pumpwerk angebracht ist, welches aus dem einen Röhrenabschnitt in regelmässigem Rhythmus Flüssigkeit herausschöpft, um sie in den anderen Abschnitt des Röhrencirkels einzupressen.

E. H. Weber hat diese Versuchsbedingungen in seinem Kreislaufsschema verwirklicht. Das Pumpwerk ist eine elastische Röhre, an deren beiden Enden Darmstücke in der Weise der Herzklappen mit Fäden befestigt sind, so dass sie die Flüssigkeitsbewegung, die durch Kompression der elastischen Röhre hervorgebracht wird, nur in einer Richtung gestatten. Mit diesem künstlichen Herzen steht ein elastischer Röhrencirkel in Verbindung, in

dessen Mitte, dem Herzen entgegengesetzt, ein Schwamm eingeschoben ist, der den Strom auf das Vielfältigste verzweigt und dadurch eine Analogie mit dem Kapillarsysteme herstellt. Setzen wir die Pumpe in Thatigkeit, nachdem das ganze Rohrensystem unter einem bestimmten Drucke gefullt wurde, der in allen Rohrenabschnitten uberall die gleiche Druckgrosse hervorbrachte, so sehen wir nun Druckschwankungen in dem Systeme eintreten. In jenem Abschnitt desselben, welchem eine bestimmte Flussigkeitsmenge entzogen wurde, sinkt der Druck; in dem anderen, dem sie zugefuhrt wurde, sehen wir ihn dagegen entsprechend steigen. Zunächst erweitert sich unter dem ansteigenden Druck das Anfangsstuck der Rohre und die Flussigkeit fliesst hier mit grosserer Geschwindigkeit. Lassen wir die Pumpe nach dieser ersten Bewegung ruhen, so wird sich langsam die Gleichheit des Druckes wieder herstellen, indem ebenso viel Flussigkeit durch die Lucken des Schwammes in den Rohrentheil, in welchem ein geringerer Druck herrscht, zuruckstromt, als aus diesem entzogen war. Wiederholen wir aber das Pumpen fruher, als der Druck sich ausgeglichen hat, fruher also, als das Aequivalent der ausgepumpten Flüssigkeitsmenge den Schwamm durchsetzen konnte, so wird die Druckdifferenz in beiden Abschnitten im gleichen Sinne noch gesteigert. Der erhohte Druck muss nun die Flussigkeitsbewegung in dem ganzen Systeme beschleunigen. Lassen wir das Pumpen rasch, mit gleicher Kraft, rhythmisch erfolgen, so dass jede Pumpenbewegung eine gleiche Flussigkeitsmenge uberpumpt, so muss ein Zeitpunkt eintreten, in welchem der Druck in dem zweiten Abschnitte genau so hoch gesteigert ist, dass in der Ruhepause der Pumpe ebenso viel Flussigkeit aus diesem Abschnitt in den ersten zurückstromt, als diesem durch eine Pumpenbewegung entzogen wurde. Nun haben wir in dem Systeme einen konstanten Strom, welcher der Blutbewegung analog ist, hervorgebracht, und zwar durch den gesteigerten Druck in dem zweiten Rohrenabschnitte, der dem arteriellen Systeme des Blutkreislaufs entspricht. Dem hohen Drucke in diesem dem arteriellen correspondirt ein entsprechend geringer in dem anderen venosen, Rohrensystemtheile. Der Druck wechselt dabei in den weiten Rohrenabschnitten natürlich bestandig etwas, er nimmt auf der einen Seite wahrend der Pumpenbewegung zu, während ihrer Ruhe ab, umgekehrt verhalt er sich auf der anderen Seite des Systems.

Die Blutbewegung.

Nach den Vorgängen, wie sie bei dem Strömen von Flüssigkeiten in starren und elastischen Röhren eintreten, erklären sich die Erscheinungen bei Beobachtung des Kreislaufs unter dem Mikroskop, ebenso der grösste Theil der Bewegungen des Blutes in den weiteren Gefässen. Die Langsamkeit des Wandstromes in den Kapillaren entspricht vollkommen dem, was wir über die Flüssigkeitsbewegung in engen Röhren auch sonst beobachten. Warum die specifisch leichteren weissen Blutkörperchen im Randstrom schwimmen, ist dagegen nicht ganz klar. E. H. Weber hat mit Hülfe der weissen Blutkörperchen die Geschwindigkeit des Wandstromes in den Kapillaren des Frosches gemessen, er fand sie mehr als zehnmal geringer, als die des Axenstromes, im Mittel in zwei Beobachtungsreihen zwischen 0,032 und 0,059 mm in der Secunde. Das Rollen der fliessenden Blutkörperchen auf ihrer Bahn zeigt uns eine directe Wirkung der verschiedenen Geschwindigkeit in den concentrischen Flüssigkeitsschichten des Gefässes.

Die Blutgefässe mit dem Herzen bilden ein in sich geschlossenes System elastischer, jedoch mit eigener Contractilität begabter Röhren. Wenn die Gesammtmasse des Blutes in dem Gefässsystem gleichmässig vertheilt ist, so steht, wie man behauptet, das Blut immer noch unter einem gewissen, geringen Druck, der beweist, dass die Blutmenge etwas grösser ist, als dem natürlichen Gesammt-Gefässlumen entspricht: die Gefässwände werden etwas ausgedehnt.

In diesem Systeme gefüllter elastischer Röhren wird nun dadurch ein Druckunterschied an verschiedenen Stellen hervorgebracht, dass durch das Herz in den einen Röhrenabschnitt eine bestimmte Flüssigkeitsmenge eingepresst wird, die aus einem anderen Röhrenabschnitt entnommen wurde. Die elastischen Kräfte des Systemes reichen für sich aus, diese Ungleichmässigkeit der Flüssigkeitsvertheilung und damit den Druckunterschied wieder auszugleichen. Von der stärker gespannten Stelle entsteht eine Strömung zu der weniger gespannten, bis die Ausgleichung geschehen ist. Es leuchtet ein, dass diese Strömung um so langsamer gehen muss, je grösser die Widerstände sind, die der Flüssigkeitsbewegung entgegenstehen. In einem Systeme gleichmässig weiter Röhren wird sie viel rascher geschehen, als in dem Blutgefässsystem, in welchem zwischen den relativ weiten Gefässen eine grosse Anzahl sehr enger, bedeutenden Widerstand bietender Haarröhrchen eingeschaltet sind. An dem Forttreiben der Blutmasse betheiligt sich nach den Entdeckungen A. v. Bezold's u. A. auch die Contractilität wenigstens der engeren Arterienzweige, welche das Blut aktiv in die Kapillarverzweigungen einpresst.

Man darf sich, wie aus dem eben Gesagten hervorgeht, die Herzbewegung nicht als den alleinigen Grund des Blutlaufes in den Gefässen vorstellen. Die mikroskopische Beobachtung zeigte uns schon, dass zu einem Durchpressen des Blutes durch die Adern die Pumpkraft des Herzens offenbar nicht ausreicht. In den kleinsten Gefässen, in Arterien, Venen und Kapillaren findet sich nämlich ein konstanter, gleichmässiger Strom, der nicht mehr von der Herzbewegung rhythmisch beschleunigt wird, auch in den grösseren Venen sehen wir dasselbe. Anders ist es in den grösseren Arterien, in denen wir die rhythmische Pulsschwankung durch die Herzcontractionen beobachteten. Es liegt auf der Hand, dass, wenn die Herzpulsation der alleinige Grund der Blutbewegung wäre, diese in allen Gefässen, nicht nur in den Arterien, einen rhythmischen Charakter entsprechend der rhythmischen Herzbewegung besitzen müsste. Die Ursache der Blutbewegung ist in Wahrheit im letzten Grunde nicht sowohl in der Herzcontraction, sondern in dem bedeutenden Druckunterschiede zu suchen, der sich, abgesehen von der aktiven Arteriencontractilität v. Bezold's, in Folge des beständigen Einpumpens von Flüssigkeit aus der venösen in die arterielle Hälfte des Gefässsystemes, zwischen den Venen und Arterien zu Gunsten der letzteren findet. Man hat diesen Druckunterschied in den Gefässen direct bestimmt. Man kann denselben schon durch das Betasten der Gefässe beurtheilen, wobei sich die Arterien prall gefüllt, die Venen schlaff anfühlen. Wenn man eine Oeffnung in eine grössere Arterie macht, so spritzt das in ihr unter hohem Druck befindliche Blut in mächtigem, mehrere Fuss hohem Strahle hervor, während es aus den Venen nur herausfliesst ohne nennenswerthe Steigung. Verbindet man mit einer Oeffnung in der Gefässwand ein Rohr (Manometer), so kann man, wie die Hydraulik lehrt, aus dem Steigen der Flüssigkeit in der Röhre den Druck erkennen, der in dem Gefässe herrscht. Lässt man das Blut selbst in das senkrechte Manometerrohr hereinsteigen, so erreicht es darin eine bedeutende Höhe, die man messen kann. Hales hat die ersten Bestimmungen der Art ausgeführt. Er band eine Glasröhre in eine Arterie und mass die Höhe, bis zu welcher das Blut in der senkrecht stehenden Röhre anstieg. Beim Pferde

betrug die Ansteigung 2,5 — 3,1 und mehr Meter. Gewöhnlich benutzt man als Haemodynamometer ein Quecksilbermanometer und lässt die Quecksilbersäule desselben durch das Einströmen des Blutes heben. Man misst dann die unter dem Blutdruck zu Stande gekommene Quecksilbersäulenerhebung und bezeichnet sie als Blutdruck in Millimetern Quecksilber (Poiseuille). In den Arterien ist der Blutdruck, da die Widerstände in den weiteren Röhren gegen die in den Kapillaren fast verschwinden, überall sehr ähnlich, doch wird er selbstverständlich gegen die Zweige zu geringer. In der Aorta schätzt man den Blutdruck zu 250 mm Quecksilber = 3 m Blut. Der Blutdruck nimmt nach Volkmann in den Arterien vom Herzen abwärts stetig ab. In der Arteria brachialis des Menschen hat ihn Faivre zu 110 — 120 mm Quecksilber direct bestimmt. Durch Multiplikation der Quecksilbersäulenerhebung mit etwa 13,5 erhält man den Druck ausgedrückt in Blutsäulenhöhe. Der mittlere Druck beträgt nach Poiseuille, Volkmann, Ludwig u. v. A. beim Pferd 280, Hund 150, Kaninchen 70 — 100 mm Quecksilber in der Carotis und Cruralis. Bei Fischen fand man 18 — 40, bei Fröschen 25 mm in den zugänglichen Arterien. In den Kapillaren lässt er sich nicht direct messen, er wird sich nach der veränderlichen Weite der Kapillaren verändern können. Er steigt und fällt in ihnen mit dem allgemeinen Blutdruck, ist aber jedenfalls immer nur sehr gering. Beutner fand den Druck in der Lungenarterie etwa dreimal geringer, als in der Aorta. In den Venen dagegen ist er noch viel kleiner, in den grossen, dem Herzen sich nähernden wird er = 0, endlich sogar negativ.

Dieser bedeutende Druckunterschied ist für sich im Stande, den Blutstrom aus den Arterien in die Venen durch das Kapillarsystem hindurch noch zu unterhalten, wenn das Herz plötzlich seine Thätigkeit einstellt, z. B. auf Vagusreizung. Nach und nach erst stellt sich ein zwar nie vollkommenes, aber annäherndes Gleichgewicht des Druckes in den beiden Gefässabschnitten ein, und die Blutbewegung hört auf. Beginnt das Herz nun seine Thätigkeit nach eingetretener Ruhe wieder, so wird dadurch der Kreislauf in alter Weise nicht sogleich wieder hergestellt. Sobald das Herz aus dem venösen Systeme durch eine erste Contraction wieder Blut in die Arterien eingepresst hat, entsteht ein freilich noch geringer Druckunterschied zu Gunsten der letzteren. Die Ausgleichung desselben wird durch die enormen Widerstände der inneren Reibung in den Gefässen, vorzüglich in den Kapillaren so verzögert, dass die zweite Contraction des Herzens noch einen Druckunterschied vorfindet und denselben durch ein weiteres Einpressen noch vermehrt. Die Geschwindigkeit des Blutstromes in den Kapillaren nimmt dabei mit dem steigenden Drucke zu. Bei jeder folgenden Herzcontraction wiederholen sich analoge Bedingungen, das Blut wird unter dem steigenden Drucke immer rascher fliessen, bis endlich in der Zeit zwischen einer Systole und der anderen genau eben so viel Blut durch die Kapillaren in die Venen einströmt, als das Herz aus diesen in die Arterien einpresst: über diese Grenze kann nun bei gleichbleibender Stärke der Herzcontractionen weder Druck noch Geschwindigkeit mehr steigen, es tritt eine Konstanz der Verhältnisse ein. Der Blutdruck in den Arterien ist nun so hoch, dass er zur Bewerkstelligung des Kreislaufes ausreicht, das Herz hat vor Allem die Aufgabe, die Druckunterschiede konstant zu erhalten. Der Druck in den Gefässen setzt also die rhythmischen Blutbewegungen, welche die

Herzcontraction verursacht, in einen continuirlichen Strom um, wie er den Bedürfnissen des höheren animalen Organismus und seiner Gewebe entspricht, in welchen ohne Störung ihrer Functionen keinen Augenblick die Blutbewegung unterbrochen werden darf. E. H. WEBER vergleicht die Arterien mit der Windlade einer Orgel, welche die Aufgabe hat, die von den Bälgen in sie eingepumpte Luft in sich anzuhäufen und diese dann unter einem hohen und gleichmässigen Druck in alle mit ihr in Verbindung stehenden Pfeifen einzupressen. Während der Systole der Kammer steigt der Druck in den Arterien an, während der Diastole sinkt er. Diese Schwankungen werden um so geringer, je kleiner die Arterien und je grösser die Pulszahlen sind.

Die Menge des Blutes, welche eine Systole überpumpt, hat man nach verschiedenen Methoden zu etwa 150—190 Gramm bestimmt. Directe Ausmessungen des Inhaltes des todten Ventrikels haben für diese Bestimmung keinen grossen Werth, da man dabei die normale Spannung der Herzwände nicht einmal annähernd nachzuahmen vermag. VOLKMANN berechnet die Blutmenge, welche in der Minute aus dem Ventrikel strömt, aus der Geschwindigkeit des Blutstromes in der Aorta und dem Querschnitte ihres Lumens, und berechnet die so gefundene Menge auf die Zeit eines Herzpulses. Die Rechnung ergab ihm etwa $^1/_{400}$ des Körpergewichtes, was den oben angeführten Zahlen entspricht. VIERORDT berechnet diesen Werth für die linke Kammer zu 180 Gramm Blut. Dieselbe Blutmenge wird in der gleichen Zeit vom rechten Herzen in die Lungenarterie, sowie vom Arteriensystem des grossen Kreislaufs in das Venensystem übergeführt (cf. unten), da ja die Blutbewegung eine continuirliche ist.

Nach VIERORDT, ED. HOFMANN u. A. steigt der arterielle Blutdruck von der Geburt bis ins erwachsene Alter beträchtlich an. Letzterer fand, dass selbst grosse Arterien, z. B. die Carotiden, wenn sie bei neugeborenen Thieren angeschnitten werden, nicht spritzen, sondern nur stossweise sprudeln. Für den Menschen gibt VIERORDT folgende Mittelwerthe des arteriellen Blutdrucks:

Neugeborener	111 mm Quecksilber
Dreijähriger	138 -
Vierzehnjähriger . . .	171 -
Erwachsener	200 -

Im späteren Alter nimmt der Blutdruck der relativen Erweiterung der arteriellen Blutbahn entsprechend wieder zu. Je nach der relativen Weite der Arterien ist der Blutdruck in verschiedenen Gefässprovinzen desselben Individuums verschieden (BENEKE), cf. unten.

Aerztliche Bemerkungen. — Durch Reizung der Magenwand sahen S. MAYER und A. PIRBRAM den arteriellen Blutdruck bei Hunden steigen, bedeutender nach Durchschneidung der Vagi; es erfolgt diese Steigerung durch reflectorische Verengerung der kleinen Arterien. LOVÉN stellte dasselbe für die Reizung der sensiblen Hautnerven fest.

Die Blutentziehung. Die Spannung in dem Gefässsysteme steht nach dem Gesagten unter dem Einflusse der Häufigkeit und Stärke der Herzbewegung. Je mehr und je rascher die Systole Blut in die Arterien einpresst, desto grösser muss der Druck werden, um in der gleichen Zeit diese grösseren Blutmengen oder die gleichen Blutmengen in kürzerer Zeit durch die Kapillaren zu pressen. Im Allgemeinen steigt und sinkt der Druck auch mit der Zu- und Abnahme der Gesammtblutmenge, wie die für den Arzt sehr wichtigen Bestimmungen

des Blutdrucks unter der Wirkung des Aderlasses ergaben, welche ein mögliches Sinken des Blutdrucks bis unter die Hälfte der anfänglich beobachteten Höhe erkennen lassen. Auch die Geschwindigkeit der Blutbewegung nimmt dabei nach VOLKMANN's Bestimmungen ab. Diese Abnahme der Blutgeschwindigkeit ist in der Abschwächung der Herzkraft z. Thl. durch den eingetretenen Blutmangel begründet, unter welchem die normale Thätigkeit aller Organe leidet. Das Herz pumpt weniger energisch, presst bei der Systole weniger Blut in die Arterien ein, der Druck im Arterienrohr muss dadurch sinken und dadurch wieder die Blutgeschwindigkeit, die ja von jenem direct bedingt wird. Nach der Blutentziehung sehen wir nach kurzer Zeit (am Haematodynamometer) den Druck wieder zunehmen. Nach der Blutentziehung sinkt die Sauerstoffaufnahme regelmässig (VOIT, RAUBER und J. BAUER), dagegen schwanken die Resultate über die Kohlensäureabgabe, BAUER will sie vermehrt gefunden haben, während RAUBER keine konstante Aenderung finden konnte. Eine chemische Untersuchung des Blutes nach starken Aderlassen ergibt konstant eine nicht unbeträchtliche, procentische Wasserzunahme desselben. Aus beiden Thatsachen muss man schliessen, dass nach der Blutentziehung eine Aufsaugung von Flüssigkeit aus den Geweben in das Blut stattfindet, und zwar muss diese aufgesaugte Flüssigkeit einen ziemlich geringen Procentgehalt an festen Stoffen haben. Diese gesteigerte Resorption beweisen auch Versuche, welche zeigen, dass unter die Haut, in Wunden gebrachte giftige Flüssigkeiten durch einen Aderlass in ihren Wirkungen auf den Organismus beschleunigt werden können. Damit mag es zusammenhängen, dass VOIT und BAUER die Harnstoffmenge (den Eiweissumsatz) nach reichlichen Blutentziehungen bei Hunden steigen sehen. Auffallend ist es, wie selbst geringere Blutentziehungen die Temperatur des Organismus herabsetzen, und wie rasch durch sie ein Nachlassen der normalen Muskelkraft nicht nur des Herzens, sondern auch der Stammmuskulatur erfolgt, wie die Schwächezustände, Zittern, Ohnmachten zeigen, die in ihrem Gefolge sich einstellen. Noch früher als die der Muskeln leidet durch grössere Blutverluste die Thätigkeit der grossen Drüsen, Leber und Nieren stellen ihre Sekretion bald ganz ein (J. RANKE). Es leuchtet ein, dass die Therapie in der Blutentziehung ein wichtiges, in neuerer Zeit mit Unrecht unterschätztes Mittel besitzt, die Organfunctionen zu beeinflussen.

Die Herzarbeit.

DANIEL BERNOULLI und nach ihm J. R. MAYER, der Entdecker des Gesetzes der Erhaltung der Kraft, haben zuerst nach richtigen Principien die Herzarbeit berechnet. Man kann die hier wirksam werdende Kraft in Kilogrammmetern ausdrücken, d. h. angeben, wie viel Kilogramme durch sie in einer gegebenen Zeit bis zu 1 m Höhe gehoben werden können, wenn wir die Blutmenge und den Druck kennen, unter welchem letztere in derselben Zeit aus dem Herzen ausströmt. Wir machen dabei die Voraussetzung, dass die Herzcontraction die alleinige Kraftursache sei, welche das Blut austreibt. Sicher tritt auch die Wirkung der elastischen Kräfte der Kammern und Vorkammern gegen die der Contraction so sehr in den Hintergrund, dass wir erstere getrost vernachlässigen können.

Berechnen wir zuerst die Arbeit des linken Ventrikels. Nach VOLKMANN beträgt die Menge der während einer Systole aus jeder Herzkammer ausgetriebenen Blutmenge, wie wir schon angegeben haben, 0,188 Kilogramm. Der mittlere Blutdruck in der Aorta beträgt etwa 250 mm Quecksilberdruck, was einer Blutsäule von 3,21 m (DONDERS) entspricht. Die gesuchte Grösse ist nun für jede Systole $0{,}188 \times 3{,}21$ Kilogrammmeter = 0,604 Kilogrammmeter. Auf die Minute kommen im Durchschnitt 75 Herzcontractionen, so berechnet sich die

Arbeitsleistung des linken Herzens allein auf 64800 Kilogrammmeter in einem Tage. Da der Blutdruck in der Pulmonalis etwa dreimal schwächer ist, als in der Aorta, so ist die Arbeitsleistung des rechten Herzens in gleicher Zeit nur der dritte Theil der von dem linken Herzen ausgeübten. Sie beträgt also im Tage etwa: 21900 Kilogrammmeter. Mit anderen Worten: die Arbeit des Herzens würde in einem Tage im Stande sein, 86700 Kilogramme einen Meter hoch zu heben oder, was dasselbe ist, ein Kilogramm 86700 m hoch. Wie gross diese Arbeitsleistung ist, wird erst recht anschaulich, wenn wir weiter unten erfahren, dass die grösste Arbeitsleistung eines Arbeiters im Tage (8 Arbeitsstunden) nur etwa 320000 Kilogrammmeter beträgt, also noch nicht viermal mehr, als die Herzarbeit allein. Die gesammte Herzarbeit wird durch die Widerstände im Gefässsystem, durch die innere Reibung verbraucht, d. h. in Wärme verwandelt. Mit der geringeren Arbeitsleistung steht die geringere Muskelstärke des rechten Herzens in Beziehung.

Vierordt legt seine auf anderem Wege berechneten etwas kleineren Zahlen seiner Berechnung der Herzarbeit zu Grunde und kommt somit zu etwas kleineren Werthen. Er berechnet den Nutzeffekt der linken Kammer zu 0,54 Kilogrammmeter in der Secunde.

Blasius fand am Froschherzen, dass gesteigerter arterieller Druck zuerst den Nutzeffekt der Herzarbeit bis zu einem Maximum steigert, von dem derselbe dann absinkt. Cyon fand, dass die Arbeitsgrösse der einzelnen Herzcontraction des Froschherzens von 0⁰—8⁰ C. etwa gleich blieb, von hier aber mit steigender Temperatur sinkt. Da die Herzcontractionen mit der Temperatur an Häufigkeit zunehmen, so sah Blasius das Absinken der Arbeit der einzelnen Contraction bei steigender Temperatur zuerst übercompensirt durch die zunehmende Häufigkeit der Herzcontractionen bis zu einem Maximum, von dem an die Verminderung der Herzarbeit durch die steigende Temperatur auch auf dieselbe Zeit bezogen überwiegt.

Geschwindigkeit der Blutbewegung in den Gefässen.

Man hat nach verschiedenen exakten Methoden die Geschwindigkeit der Blutbewegung in den Blutgefässen direct bestimmt. In der Carotis grösserer Säugethiere durchläuft das Blut in der Secunde eine Wegstrecke von ca. 0,3 m. Bei dem Kalbe ergeben die Versuche ca. 232, bei dem Hunde 261, bei dem Pferde 300 mm (Vierordt). Gegen die Kapillarausbreitung nimmt die Blutgeschwindigkeit mehr und mehr ab, in den Kapillaren selbst beträgt die Stromgeschwindigkeit des Axenstromes beim Frosch etwa 0,5 mm (E. H. Weber), bei Säugethieren 0,8 mm in der Secunde. In der Metatarsea des Pferdes bestimmte Volkmann diese Grösse noch zu 56 mm. In den grösseren Venen ist die Geschwindigkeit um 0,5 — 0,75 mal kleiner, als in den ihnen entsprechenden Arterien.

Der Grund dafür, dass in den engeren Arterien das Blut langsamer, am langsamsten in den Kapillaren fliesst, dass die Geschwindigkeit dagegen in den Venen in der Richtung von den Zweigen gegen die Stämme grösser wird, liegt in der Veränderung der Weite des Blutstrombettes. Es ist, wie oben gesagt, leicht nachzuweisen, dass bei der Theilung der kleineren Arterien zwar die einzelnen Aeste enger sind, als der Stamm, dass aber die Summe der Querschnitte der Aeste fast ausnahmslos grösser ist, als der Querschnitt des Stammes. So erweitert sich also mit der Verästelung das arterielle Blutstrombett mehr

und mehr, der weiteste Abschnitt des Gesammtquerschnittes der Blutbahn ist der, in welchem sich die engsten Gefässe finden, die Kapillarstrecke. Ganz analog ist die Verzweigung der Venen, so dass die Blutmasse, die von den Kapillaren herkommt, in ein enger und enger werdendes Bette eingedrängt wird. Die Stromgeschwindigkeiten in den in ihrem Lumen vereinigt gedachten Gefässabschnitten: Stämme, Aeste, Zweige, Kapillaren verhalten sich nach den Gesetzen der Flüssigkeitsbewegung in Röhren von verschiedenem Querschnitt umgekehrt, wie die Querschnittsgrössen des Gesammtlumens.

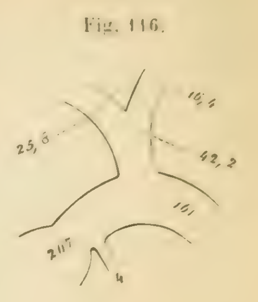
Obwohl das Blut stossweise aus dem Herzen in die Arterien eingepresst wird, so ist doch auch in ihnen nach den oben dargelegten Gesetzen der Flüssigkeitsbewegung in dem Weber'schen Kreislaufsschema die Strömung eine ununterbrochene, jedoch mit stossweiser Beschleunigung. Jede Kammersystole steigert nach Vierordt die Geschwindigkeit in den grösseren Arterien um 20 bis 30 %. Dieser Einfluss der Kammersystole nimmt, wie die Gefässe des Pulses und der Spannungszuwachs des Blutes, ebenfalls wegen der Erweiterung des Strombettes, gegen die Arterienzweige zu mehr und mehr ab, um je nach der Stärke der Herzaktion in den peripherischen Arterien früher oder später eine Grenze zu finden. In den Kapillaren fliesst daher das Blut gleichmässig ohne pulsatorische Veränderung der Geschwindigkeit. Auch in den Venen sollte im Allgemeinen der Blutstrom ein continuirlicher sein, doch macht sich bei ihnen eine Reihe von accessorischen Einflüssen geltend, die unten mit der Wirkung der Athembewegungen gemeinschaftlich besprochen werden sollen.

Betrachten wir die einzelnen Gefässe, welche zu einem Gesammtquerschnitt des Gefässsystemes gehören, so müssen auch hier die Blutgeschwindigkeiten verschiedene sein, je nachdem die Widerstände in einem oder dem anderen grösser oder geringer sind. Wir wissen, dass der Widerstand wächst mit der abnehmenden Weite der Röhren; dass die mittleren Geschwindigkeiten in den Zweigströmen nach den verschiedenen Verzweigungswinkeln verschieden sind, dass knieförmige Biegung der Röhren den Strom etwas verlangsamt.

Nach der Durchschneidung der Gefässnerven, nach der Reizung der motorischen und sekretorischen Nerven in den Muskeln und Drüsen (Bernard, Ludwig u. A.) sehen wir die Blutgeschwindigkeit in den betreffenden Gefässprovinzen sich verändern, und zwar steigen. Das Gleichgewicht zwischen den Widerständen und dem Spannungsunterschied des Arterien- und Venensystemes wird dabei durch eine Erweiterung der Arterien und Abnahme ihres Widerstandes lokal gestört, so dass unter diesen Umständen die Pulswelle und systolische Blutbeschleunigung in die Kapillaren und sogar in die Venen übergehen kann. Man hat sich hier auch an die Beobachtung zu erinnern, dass die Kapillaren contractil sind, also ihr Lumen aktiv veränderlich, wodurch der Widerstand gegen die Blutbewegung in hohem Maasse beeinflusst werden muss. Es ist klar, dass auch die Blutmenge, welche ein Körpertheil in der Zeiteinheit erhält, und damit die Blutvertheilung im Körper abhängig ist von der Zahl und Weite der zuführenden Arterien und der Stromgeschwindigkeit in denselselben. Volkmann und Vierordt erörterten diese Fragen, welche für die Lehre vom Kreislauf und dem gesammten Stoffwechsel wichtig sind, für die Verhältnisse beim Menschen näher. Die Secundengeschwindigkeit des Blutes in der Carotis beträgt 261 mm (cf. oben), den Querschnitt der menschlichen Carotis bestimmte Vierordt zu 0,63 □ cm, also die Durchflussmenge in der Secunde 261 mal 0,63 = 16,4 Cub.-Centimeter (cf. oben). Der Querschnitt der A. subclavia ist 0,99 □ cm, bei gleicher Geschwindigkeit wie in der Carotis ist die Durchflussmenge 25,8 cc. Somit fliessen durch die A. anonyma in 1 Secunde 16,4 + 25,8 = 42,2 cc. Der Querschnitt der Anonyma ist 1,44 □ cm, der der Aorta unmittelbar hinter dem Abgang der Anonyma 4,39 □ cm. Wäre die Blutgeschwindigkeit in beiden Gefässen gleich,

so wurde durch das genannte Aortenstück in einer Secunde 129 ccm Blut fliessen, die Geschwindigkeit im Arcus Aortae ist aber etwa um $^1/_4$ grösser, die Durchflussmenge also 161 ccm. Rechnet man dazu die 42 ccm der Anonyma und 4 ccm für die Coronariae cordis, so erhält man 207 ccm = 219 **Gramm Blut, welche in 1 Secunde aus der linken Herzkammer** ausgetrieben werden. Da auf 1 Secunde 1,2 Systolen treffen, so treibt jede Systole 172 ccm = 180 Gramm Blut aus VIERORDT[1].

Fig. 116.



Methoden zur Bestimmung der Blutgeschwindigkeit. VOLKMANN construirte zur Messung der Stromgeschwindigkeit in den Gefässen das Haemodromometer, es ist eine mit Wasser gefüllte, U-förmig gebogene Glasröhre von bekannter Länge und Volumen, die man durch einen in die Arterie eingebundenen, doppelt durchbohrten Hahn, der die Blutströmung zuerst in der gewöhnlichen Richtung gestattet, plötzlich in den Strom der Arterie schalten kann. Mit der Uhr bestimmt man die Zeit, in welcher alles Wasser aus der Röhre durch Blut verdrängt ist. Eine längere und vergleichende Beobachtung an derselben Arterie gestattet LUDWIG's Stromuhr. Zwei kugelige Glasgefässe von bekannten Volumen kann man durch zweckmässige Hahneinrichtung sich abwechselnd füllen lassen, während jedesmal die Flüssigkeit, welche zur Füllung des einen diente (Oel), in das andere hinüber gedrängt wird. Das Instrument erlaubt durch Verbindung mit Druckmessern etc. eine sehr vollkommene Untersuchung der Circulationsverhältnisse. VIERORDT bestimmt die Blutgeschwindigkeit aus dem Ausschlag eines in das strömende Blut gehängten Pendelchens: Haemotachometer, in analoger Weise, wie man die Geschwindigkeit der Wasserbewegung in Flüssen misst. Der Apparat besteht aus einem primär mit Wasser gefüllten messingnen Kästchen mit parallelen Glaswänden, das in die Strombahn eingeschaltet wird. Ein an der Einflussmündung senkrecht herabhängendes Pendelchen wird vom Blutstrom abgelenkt und zwar um so mehr, je grösser die Geschwindigkeit ist. Das Pendel endet in ein silbernes Kügelchen, welches jederseits mit einer feinen Spitze die Seitenglaswand möglichst ohne Reibung berührt. Die Spitzen lassen durch die sonst undurchsichtige Blutschicht die Pendelablenkung erkennen. Jede Kammersystole vermehrt die Ablenkung, so dass mit dem Apparat auch die Pulszahlen abgelesen werden können. An einem aussen an der Seite angebrachten Kreisbogen liest man die Pendelexkursionen ab, welche die Anhaltspunkte zur Berechnung der vorbeiströmenden Flüssigkeitsmenge liefern.

Die Kreislaufszeit.

HERING D. Ä. hat zuerst Versuche gemacht, die Zeit zu bestimmen, welche ein Bluttheilchen braucht, um den ganzen Umlauf zu vollenden, um also z. B. von der Vena jugularis externa der einen Seite in das rechte Herz, Lunge, linkes Herz und durch die Aortenverzweigungen, Kapillaren, Venen zur Jugularis der anderen Seite zu fliessen. Er spritzte eine Lösung des chemisch leicht nachweisbaren Salzes: Ferrocyankalium in die eine Vene, z. B. Jugularis, ein und sammelte von dem Augenblick des Einspritzens an von je 5 zu 5 Secunden das aus der angestochenen gleichnamigen Vene der anderen Körperseite austropfende Blut. In 1 Minute bekam er so 12 Blutproben, deren Serum er mittelst Eisenchlorid auf die Anwesenheit von Ferrocyankalium prüfen konnte, diejenige Probe, welche die erste Bläuung durch gebildetes Berlinerblau zeigte, gab die Dauer eines Kreislaufs an, die Zeit, welche die eingespritzte Flüssigkeitsmenge

gebraucht hatte, den Weg durch die Kreislaufsorgane zurückzulegen. VIERORDT hat mit einer, bezüglich der Zeitbestimmung verschärften Methode diese Versuche fortgesetzt. Die durchschnittliche Dauer eines Blutumlaufes beträgt nach HERING beim Pferde 31,5 Secunden, nach VIERORDT bei jungen Eichhörnchen 4,39, Katze 6,69, Igel 7,61, Kaninchen 7,79, Hund 16,7, Huhn 5,17, Bussard 6,73, Enten 10,64, Gans 10,86 Secunden. Beim Menschen berechnet sie VIERORDT zu 23 Secunden.

Man hat der Methode zum Vorwurf machen wollen, dass die Länge der verschiedenen Blutbahnen, welche dem eingespritzten Salze offen stehen, sehr verschieden seien, dass man nicht wisse, welcher derselben eingeschlagen wurde. VIERORDT hat die aus dem Einschlagen verschiedener Bahnen hervorgehenden Zeitdifferenzen direct gemessen. Er fing das Blut zur Probe gleichzeitig aus zwei verschiedenen Venen auf, der Jugularis und Cruralis, und injicirte in die Jugularis der anderen Seite. Bei dem Hunde betrug die Kreislaufszeit zwischen beiden Jugularvenen 16,22, zwischen Jugularis und Cruralvene 18,08, die Differenz ist also nur eine geringe = 10%. VIERORDT erklärt diese nahe Uebereinstimmung dadurch, dass in den kleinen Gefässen und namentlich in den Kapillaren das Fliessen am langsamsten erfolgt, diese Verzögerung ist aber allen Bahnen gemeinsam, während es bei der bedeutenden Blutgeschwindigkeit in den grossen Gefässen ziemlich gleichgiltig ist, ob ein Theil dem Herzen nah oder fern liegt, ob diese rasch durchlaufene Strecke etwas länger oder kürzer ist. Im Allgemeinen bestätigt dieser Versuch die a priori schon wahrscheinliche Meinung, dass die zuerst nachweisbaren Spuren des Ferrocyankaliums den Kreislauf auf dem kürzesten offenstehenden Weg zurückgelegt haben.

Aus dieser kurzen Zeit, welche zur Vollendung eines Kreislaufs erforderlich ist, erklärt sich die fast momentane Wirkung mancher direct ins Blut gebrachter (eingespritzter) Gifte, z. B. der Blausäure, der Strychninlösung.

Die Schwankungen in der mittleren Kreislaufszeit hängen bei demselben Individuum zunächst ab von der Zahl und Grösse der Herzkammersystolen. Nimmt die Pulsfrequenz etwas zu, so wird die Kreislaufszeit ein wenig abgekürzt, bald aber kommt ein Punkt, wo sie wieder zunimmt, weil bei grösserer Pulsfrequenz die Systolen allmälig weniger ausgiebig werden, so dass durch starke Vermehrung der Pulsfrequenz, wie sie im Fieber stattfindet, die Kreislaufsdauer über die normale verlängert wird. HERING fand die Kreislaufszeiten in der Jugularisbahn von Pferden von einem Alter von 8,8 und 17,7 und 21,1 Jahren zu 22,5 und 25,0 und 29,2 Secunden. Daraus geht hervor, dass bei jüngeren Thieren die Kreislaufszeit etwas kürzer ist, als bei älteren. Die Körpergewichtseinheit des Kindes empfangt überdies in der Zeiteinheit beträchtlich viel mehr Blut, auch wegen der relativ grösseren Gesammtblutmenge. Namentlich auffallend ist diese Mehrzufuhr von Blut zu den Bewegungsorganen des Kindes, woraus sich nicht nur das rasche Wachsthum dieser Organgruppe, sondern auch die kindliche Neigung zu Körperbewegung in Spielen, Laufen etc. erklärt (J. RANKE). HERING fand bei Hengsten die Kreislaufsdauer etwas kürzer, als bei Stuten: 25,4 und 27,3 Secunden. Grössere und schwerere Thiere haben eine bedeutend langsamere Kreislaufszeit, als kleinere derselben Art. Bei Hunden von 1,8 und 22,5 Kilogramm Körpergewicht fand VIERORDT die Dauer des Kreislaufs zu 10,44 und 19,37 Secunden. Das Verhältniss der mittelst einer Ventrikelsystole ausgetriebenen Blutmasse zur Gesammtblutmenge des Körpers nimmt ab mit zunehmender Körperlänge und Schwere. VIERORDT fand auch die arterielle Stromgeschwindigkeit grösser bei kleineren, als bei grösseren Thieren derselben Art, so dass hier ähnliche Verhältnisse sich ergeben, wie zwischen jüngeren und älteren Thieren. Durch Muskelthätigkeit fand HERING bei Pferden den Blutkreislauf (der Jugularisbahn) beschleunigt, die Kreislaufszeit war nach dem Herumtreiben im Trabe 17,5, während sie in der Ruhe 22,5 Secunden betrug. Nachts ist der Blutlauf langsamer, als am Tage.

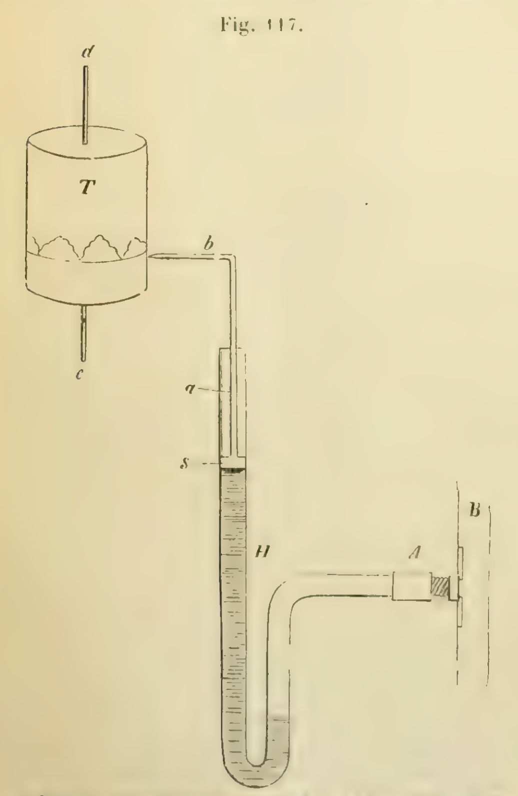
Der Puls.

Die konstant unter der Wirkung des höheren Druckes in den Arterien eintretende Entleerung derselben, der dagegen nur rhythmisch erfolgende Ersatz der verlorenen Flüssigkeitsmengen durch die Herzaktion machen die Blutbewegung in den Arterien zu einer doppelten. Einmal sehen wir ein konstantes Fliessen in ihnen durch die Druckwirkung der Wände erzeugt, welches auch nach Aufhören der Herzaktion bis zur annähernden Ausgleichung der Druckunterschiede fortgeht. Mit dieser konstanten Strömung mischt sich, wie sich aus den oben angeführten Untersuchungen der Flüssigkeitsbewegung in elastischen Röhren ergibt, eine Wellenbewegung, deren Ursache das rhythmische Bluteinpumpen des Herzens ist. Diese Wellenbewegungen, die sich in den Arterien als eine Druckerhöhung während der Systole, als eine Druckerniedrigung während der Diastole des Herzens zu erkennen gibt, wird als Puls bezeichnet. Normal treten etwa 72 Pulse in der Minute auf. Der Puls ist am stärksten in den grössten, dem Herzen am nächsten gelegenen Arterien, in den kleineren sehen wir ihn schwächer werden und meist schon, ehe sie in Kapillaren übergehen, ganz verschwinden. Der Puls ist eine Ausdehnung der Arterien durch die während der Systole in sie eingepresste Blutmenge. Man kann an oberflächlich unter der Haut liegenden oder an blosgelegten Arterien mit freiem Auge sehen, dass diese Ausdehnung ganz wie bei anderen elastischen Röhren sowohl die Weite, als die Länge des Gefässes vergrössert. Die Ausdehnung tritt, wie dort, in der ganzen Länge des Gefässsystemes nicht gleichzeitig auf. Wenn das Blut in das Anfangsstück der Aorta eingepresst wird, so wird dieses zuerst ausgedehnt. Seine elastischen Kräfte machen sich nach Aufhören der Wirkung des übermächtigen Herzdruckes sogleich geltend. Sie üben einen Druck auf den flüssigen Inhalt aus, der den eingetretenen Ueberschuss wegzupressen versucht. Nach dem Herzen zu ist der Rückweg durch die Klappen versperrt, der Ueberschuss wird sonach weiter vorwärts gedrängt. Indem sich dieselbe Wirkung der elastischen Kräfte in jedem folgenden mehr ausgedehnten Arterienstück wiederholt, läuft die Ausdehnung als Wellenberg über die Arterienwand hin den Kapillaren zu. Dabei nimmt die Kraft der Welle immer mehr ab und wird endlich = 0. Die Ursache dieses Verschwindens des Pulses liegt in verschiedenen Momenten. Schon die Bewegung an sich, die bedeutenden Widerstände in den Gefässen etc. schwächen die Welle mehr und mehr ab. Dabei kommt vor Allem auch die mehr erwähnte starke Erweiterung des Strombettes bis ins Kapillarsystem in Betracht. Die Stärke der Welle steht mit ihrer Ausdehnung in umgekehrtem Verhältniss. Wenn sich in den Kapillaren das Strombett des Blutes auf das 400fache erweitert, wie man annimmt, so muss schon aus dieser Ursache dort die sichtbare, ausdehnende Wirkung der ungeschwächt gedachten Welle 400mal geringer sein. Dazu kommt noch, dass die Blutmenge und dadurch der durch die Systole eingepresste Ueberschuss sich während des Ablaufes der Welle durch Abfluss in das Venensystem immer mehr verringert. Nur in ganz seltenen Fällen, wenn z. B. die Gefässe durch Lähmung ihrer Nerven erweitert, die Widerstände geringer sind, geht die Wellenbewegung auch in das Kapillarsystem und durch dasselbe in die Venen über. Bei den arbeitenden Speicheldrüsen zeigen die Venen neben dem schon beschriebenen hellrothen

Blute auch noch Puls. Man kann das Fortschreiten des Pulses über die Arterien mit chronometrischen Vorrichtungen messen. An vom Herzen abgelegeneren Arterien tritt die Ausdehnung der Wand um einen Bruchtheil einer Secunde später ein, als in einer dem Herzen nahen Arterie. Die Pulswelle pflanzt sich um 9240 mm in der Secunde fort (E. H. Weber). Man darf sich also die Welle nicht als eine kurze, längs der Arterie fortrollende Welle vorstellen. Die Pulswelle ist so lang, dass nicht einmal eine einzige ganze Welle Platz hat in der Strecke von dem Anfang der Aorta bis zur Zehenspitze. Nehmen wir an, dass eine Zusammenziehung des Herzens $^1/_3$ Secunde dauert, so ist der Anfang der Welle schon über 3 m weit (3,08) fortgeschritten, während ihr Ende in der Aorta entsteht. Es wird also durch den Puls sehr rasch das ganze Arterienrohr ausgedehnt, das sich dann etwas langsamer vom Herzen weg wieder verengert.

Apparate zur Pulsmessung. — Der Puls bietet für die Diagnose und Therapie in Krankheiten so wichtige Anhaltspunkte (cf. die Lehrbücher der allgemeinen Pathologie), dass es nöthig ist, seine normalen Verhältnisse genau zu kennen, um beurtheilen zu können, ob sie in krankhaften Zuständen Aenderungen erfahren haben. Man hat, um den Puls hierzu mit physikalischer Schärfe beobachten zu können, Apparate zur Pulsmessung ersonnen, welche an Stelle der subjectiven Empfindungen des pulsfühlenden Fingers, unter Umständen freilich das beste Beobachtungsinstrument, die objective Betrachtung und Messung einzuführen. Bei Thieren ist es thunlich, zur Beobachtung in eine Arterie das Manometer (Haemodynamometer) einzufügen, wie wir das an anderen starren und elastischen Röhren oben beschrieben haben, und die durch den Puls hervorgebrachten Druckschwankungen an dem Auf- und Niedersteigen des Quecksilbers an der Scala dem Auge sichtbar zu machen. Ludwig's Kymographion schreibt diese Druckschwankungen des Blutes selbstthätig auf (Fig. 117). In das Quecksilber der Manometerröhre wird ein leichter Schwimmer eingesetzt, der an seinem frei aus der Röhre vorstehenden Ende einen quer aufgesteckten Pinsel oder anderen zweckmässigen Schreibapparat trägt, der den Bewegungen des Quecksilbers auf- und abwärts folgt. Der Pinsel schreibt diese Bewegungen auf eine durch ein Uhrwerk mit gleichmässiger Geschwindigkeit um eine senkrechte Axe sich drehende Trommel, die mit Papier beklebt ist. Es entstehen so durch den Verlauf der regelmässigen Druckschwankungen Curven auf dem Papier, an denen die Pulsveränderungen der messenden

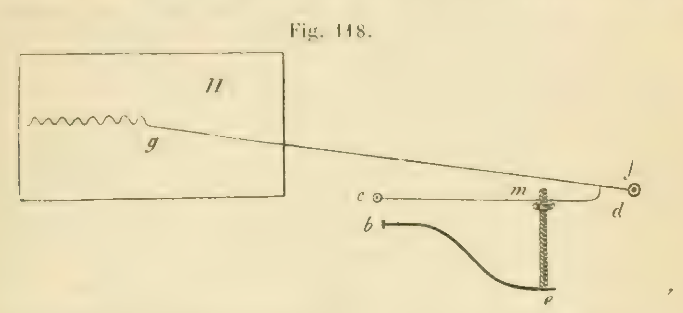
Fig. 117.



T Kymographion-Trommel um die Axe *c d* beweglich. *B* die Arterie. *A* Ansatzstück, welches die Arterie mit dem Manometer *H* verbindet. *a s* der Schwimmer, welcher auf dem Quecksilber aufsitzt. *b* schreibender Pinsel.

Beobachtung zugänglich werden. Bei dem Menschen benutzt man die durch das Hindurchgehen des Pulses entstehende seitliche Ausdehnung der Arterie, die man sich ebenfalls durch sogenannte Sphygmographen graphisch darstellen lässt. Vierordt, dem wir diese Methode verdanken, setzte auf die Arterie ein Knöpfchen, dessen Hebungen einen Fühlhebel bewegten. Ein an dessen Spitze angebrachter Pinsel schreibt auf der eben beschriebenen Trommel des Kymographion seine Curven. Marey hat ein sehr kompendiöses Instrument angegeben, das für den Arzt eine leichtere Verwendung gestattet, als das Vierordt'sche (Fig. 118). Der Fühlhebel, der hier durch eine auf die Arterie aufgedrückte Feder bewegt

Fig. 118.



H die durch ein Uhrwerk bewegte Platte, *f g* die auf dieser schreibende Feder, *e b* der auf die Ader aufgedrückte Knopf im Durchschnitt.

wird, ist sehr leicht und an seiner Spitze mit einer Art Schreibfeder versehen, die seine Bewegungen auf eine mit Papier bezogene Aluminiumplatte aufschreibt, welche mit gleichbleibender Geschwindigkeit durch ein kleines Uhrwerk vorübergezogen wird. Das Uhrwerk passt mit dem ganzen Apparat zusammen in ein kleines Kästchen, das leicht in der Tasche getragen werden kann.

Fick's Federkymographion zur Messung des arteriellen Blutdrucks besteht aus einer kreisförmig gekrümmten hohlen Messingfeder, die mit Alkohol gefüllt ist. Das feste Ende der Feder wird durch einen elastischen Schlauch mit der Arterie in Verbindung gesetzt, das freie Ende zeichnet die Druckschwankungen auf das Kymographion.

Um den zeitlichen Verlauf des Pulses messen zu können, muss die Umdrehungsgeschwindigkeit der Trommel, die Laufgeschwindigkeit der Marey'schen Platte bekannt sein. Der mit dem Zirkel zu messende Abstand der Curven belehrt uns dann über die Zeit, welche zwischen je zwei Pulsschlägen verstrich, ebenso kann man auch die Dauer der Wandausdehnung der Arterie auf die gleiche Weise direct messen, da ja bei der bekannten, gleichbleibenden Bewegung ein zurückgelegter Weg direct der Zeit proportional ist, welche zu seiner Zurücklegung erforderlich war. Zur Messsung der Pulswelle, der Verspätung des Pulses in peripherischen Arterien, dient noch am zweckmässigsten der elektrische Doppelhebel von Czermak. In älterer und neuerer Zeit wurden noch mehrfache Instrumente zur Pulsmessung angegeben, wir erwähnen: Poiseuille's Kastenpulsmesser, Herrison's und Chelius' Röhrensphygmograph, Marey's neuer und Broudgeest's Pansphygmograph, Landois' Angiograph etc.

Eigenschaften des Pulses für die ärztliche Beobachtung. — Vierordt fand, dass die Zeit der Ausdehnung der Arterie durchschnittlich etwas kürzer dauert, als die Zeit der Zusammenziehung; das Verhältniss ist etwa wie 100 : 106. Man bezeichnet das Verhältniss der Expansionszeit zur Contractionszeit als Pulscelerität. Die Dauer der einzeln auf einander folgenden Pulsschläge ist bei einem und demselben Individuum ziemlich wechselnd, so dass sich Unterschiede um mehr als ein Drittel der Zeit finden. Die Höhe der auf einander folgenden Pulscurven, also der Unterschied im Ausdehnungsgrade der Arterie: die Pulsgrösse, ist bei demselben Individuum sehr schwankend, fast um das Doppelte. Beim grossen Puls wird ein ansehnliches Blutvolumen in die Arterie eingetrieben. Im All-

gemeinen ist der Puls gross, wenn er selten und träge ist, klein und oft auch häufig wird er bei geminderter Herzkraft und bei grösseren Widerständen im arteriellen Strombett. — Es ist möglich, mit dem zufühlenden Finger den Puls zum Verschwinden zu bringen, indem man die Arterie durch den ausgeübten Druck verschliesst. Der Arzt schliesst aus der dazu angewendeten Kraft auf den Blutdruck in der Arterie, damit also auf die Geschwindigkeit der Bewegung.

Nach den Curven des Marey'schen Instruments besteht jeder Puls aus zwei Hebungen und Senkungen, die zweite ist so gering, dass sie als eine kleine wellenförmige Erhebung auf dem absinkenden Theile der Hauptpulscurve erscheint. Man kennt den »exquisit doppelschlägigen, dicroten« Puls als eine Veränderung des normalen Rhythmus in Krankheiten. Der pulsfühlende Finger empfängt zwei Schläge, von denen der erste stärker und länger ist. Vierordt beobachtete ihn vorübergehend bei Gesunden während des Gehens. Man kennt die Ursache für die zweite normale Pulswelle nicht. Vielleicht wird an irgend einer Stelle im Arteriensystem ein Theil der primären Pulswelle reflectirt. Man hat bei dieser Erklärung an die plötzliche Ausdehnung der Semilunarklappen oder an die Theilungsstelle der Aorta gedacht, keinesfalls entspricht sie einer zweiten Kammersystole. Noch immer wird behauptet, sie entstehe bei der Beobachtung des normalen Pulses mit dem Marey'schen Sphygmographen durch Eigenschwingungen des Hebels, die natürlich nicht ganz vermieden sind, die sich aber auch bei den anderen Pulsmessinstrumenten mehr oder weniger störend geltend machen können. Der aussetzende Puls entspricht entweder einem wahren Aussetzen eines Herzschlags, einer fortgesetzten Diastole der Herzkammer, oder die Systole findet dabei statt, ist aber zu schwach, um das Kammerblut gehörig spannen und die Aortenklappen öffnen zu können. Eine negative Pulswelle entsteht, wenn krankhafter Weise die Aortenklappen nicht schliessen und bei der Diastole Blut in die Kammer zurückströmt, der Blutdruck sinkt in der Aorta während der Diastole bedeutend. Diese Abspannung pflanzt sich auch gegen die Peripherie der Welle fort, aber ohne dass die Strömung des Blutes dadurch eine andere Richtung annähme.

Die Zahl der Pulsschläge: die Pulsfrequenz, wechselt vielfach bei demselben Individuum. Die kleinste Bewegung, lautes, anhaltendes Sprechen, andere zufällige Veränderungen des Athemrhythmus, Gemüths- und Sinneseindrücke verändern die Pulsfrequenz in auffallender Weise. Doch ist es gelungen, eine Reihe allgemeiner Gesichtspunkte in dieser Hinsicht aufzufinden. Die Pulsfrequenz ist nach dem Alter des Individuums verschieden. Sie nimmt von der Geburt bis zum Mannesalter ab, um von da an wieder etwas zuzunehmen. Während der Säugling im Durchschnitt 134 Schläge hat, sinkt die Anzahl zwischen dem 20. und 24. Lebensjahre auf 71. Sie bleibt sich dann längere Zeit gleich, und steigt endlich wieder langsam an; im 55. Jahre 72, im 80. 79 Schläge in der Minute. Grössere Individuen haben im Allgemeinen einen etwas selteneren Puls als kleinere, ebenso Männer einen selteneren als Frauen. Bei demselben Individuum schwankt der Puls regelmässig nach der Körperstellung, er verlangsamt sich durch Liegen und beschleunigt sich durch Aufstehen. Dem Arzte muss diese Beobachtung bei jedem Krankenbesuche gegenwärtig sein. Bei Geschwächten reicht schon das Aufsetzen im Bette, die erste Aufregung des ärztlichen Besuches hin, für einige Zeit die Pulsfrequenz zu steigern. Am Morgen ist die Pulsfrequenz grösser als am Abend; nach dem Essen steigt sie ebenfalls an. Bei Pflanzenkost soll sich die Pulsfrequenz verlangsamen.

Für den Arzt mag hier noch die Bemerkung Platz finden, dass die veränderte Art der Herzthätigkeit und des Pulses, die er an Kranken beobachtet, meist seine directe Hülfe zunächst nicht beansprucht. In vielen Fällen ist die eben vorhandene Abweichung von der normalen Thätigkeit die beste Form, unter welcher das Herz seine Aufgaben für den Gesammtorganismus bei den bestehenden Störungen erfüllen kann. Man darf das bei der Auswahl der auf das Herz wirkenden Medikamente nicht vergessen. Eine künstliche Veränderung der anormalen Herzaktion kann, wenn die Störungen fortdauern, die sie bedingt haben, eine directe Gefahr für das Leben des

Patienten herbei führen, da unter den veränderten Bedingungen das Herz nun vielleicht nicht mehr im Stande ist, die Circulation bis zu einem gewissen Grade normal zu erhalten. Das Herz accommodirt sich dem jeweilig gegebenen Zustand des Gesammtorganismus in wunderbarer Weise. Ueber das Wechselverhältniss der Herzaktion und der Widerstände in der Blutbahn war schon oben die Rede.

Pulsfrequenz, Kreislaufszeit und Blutmenge. — Vierordt zeigte, dass die Hauptfaktoren des Blutumlaufs: Zahl der Herzschläge, Kreislaufszeiten, Blutdruck und umgetriebene Blutmasse unter sich einen gesetzmässigen Zusammenhang erkennen lassen. Die mittlere Kreislaufszeit einer Säugethier- oder Vogelart ist gleich der durchschnittlichen Zeit, in welcher das Herz 27 Schläge vollendet. In der folgenden Tabelle stehen die directen Versuchsergebnisse:

	Körpergewicht (Gramm)	Pulsfrequenz	Herzschläge während eines Kreislaufs
Eichhörnchen	222	320	23,7
Katze	1312	240	26,8
Igel	911	(circa) 189	23,8
Kaninchen	1434	220	28,5
Hund	9200	96	26,7
Pferd	380000	55	28,8
Huhn	1332	354	30,5
Bussard	693	282	31,6
Ente	1324	163	28,9
Gans	2822	144	26,0

Diese auffallende Uebereinstimmung berechtigt zu dem oben schon erwähnten Schluss, dass die Kreislaufszeit des Menschen bei einer Pulsfrequenz von 72 = 23,1 Secunde sei. Die mittleren Kreislaufszeiten zweier Thierarten verhalten sich, nach dem Vierordt'schen Gesetz, umgekehrt wie deren Pulsfrequenzen. Nimmt aber die Pulsfrequenz sehr erheblich zu, so verliert dieses Gesetz bis zu einem gewissen Grade seine Geltung. Muskelaktion steigert die Pulsfrequenz sehr erheblich, bei mässiger Körperbewegung steigt der Puls sogleich um 10—20, bei längerer Fortsetzung um 30 Schläge in der Minute, starkes Laufen erhöht die Pulszahl um das Doppelte, ja Dreifache der Norm, dabei verringert sich, wie wir oben sahen, die Kreislaufszeit aber nicht in dem Verhältniss, wie die Pulsfrequenz gesteigert ist. Bei dem oben (S. 483) angeführten Versuche Hering's war bei dem Pferde in der Ruhe Pulsfrequenz 36, Athemfrequenz 8, die Kreislaufszeit 22,5, nach längerem Traben stieg die Pulsfrequenz auf 100, die Athemfrequenz auf 24, während sich die Kreislaufszeit nur auf 17,5 Secunden verminderte. Die Athem- und Pulsfrequenz sind auf das Dreifache gesteigert, die Beschleunigung des Kreislaufs ist dagegen nur wie 1,3 zu 1. Dass beim Fieber die Kreislaufszeit sogar vergrössert, d. h. der Blutumlauf verlangsamt ist, wurde schon oben erwähnt. Die frequenteren Ventrikelcontractionen treiben dann erheblich weniger Blut in die Arterien ein als in der Norm Vagusdurchschneidung ändert die Kreislaufszeit nicht erheblich.

Die Blutmenge des Menschen berechnete Vierordt nach den bisher angeführten Thatsachen über den Blutkreislauf. Alles Blut des Körpers fliesst während einer Kreislaufszeit ein Mal durch das linke Herz, nach dem eben angeführten Vierordt'schen Gesetz treiben die Kammersystolen bei allen Warmblütern dieselbe proportionale Blutmenge aus, nämlich $^1/_{27}$ der gesammten Blutmasse. Da wir beim Menschen (S. 482) die mittelst einer Kammersystole entleerte, absolute Blutmenge kennen, so ergibt sich die Gesammtblutmenge des Menschen direct. Die Kreislaufszeit des Menschen ist 23,1 Secunde, während dieser macht das Herz im Mittel 27,7 Systolen. Eine Systole des linken Ventrikels treibt 172^{cc} Blut aus, also ist die Blutmenge des Menschen = 4760^{cc}, in runder Zahl = 5000 Gramm = 10 Pfd. Das durchschnittliche Körpergewicht zu 63,6 Kilogramm angenommen, ist die Blutmenge

$\frac{1}{12,6} = \frac{1}{13}$ des Körpergewichts. Eine Ventrikelsystole treibt also ein Blutgewicht aus von $\frac{1}{353}$ des Körpergewichts. VIERORDT übertrug diese Berechnungsweise, auf die letzte Grösse sich stützend, auch auf die übrigen Warmblüter. Doch ist das mittlere Körpergewicht bei kleinen Thieren procentisch zu sehr von dem absoluten verschieden, als dass diese Berechnung für sie mehr als Annäherungswerthe für ihre Blutmasse geben könnte. Vortrefflich stimmt dagegen die VIERORDT'sche Berechnung für den Menschen mit den directen BISCHOFF'schen Bestimmungen, die auch für das gleiche Mittelgewicht genau die gleiche Blutmasse = 10 Pfd. ergaben. Bei grösseren normalen Thieren wird diese mittlere Uebereinstimmung wohl stets zutreffen. Nach VIERORDT's Berechnung sollte die Blutmenge aller Warmblüter im Mittel $\frac{1}{13}$ des Körpergewichts betragen.

Aus dem Vorstehenden ergibt sich weiter, dass die normal durch die Gewichtseinheit der Körpermasse (1 Kilogramm) verschiedener Thiere in der Zeiteinheit strömenden Blutmassen sich verhalten, wie die Pulsfrequenzen. Je rascher also die Herzschläge, desto lebhafter wird, Gleichheit der übrigen Bedingungen vorausgesetzt, der Stoffwechsel einer Thierart sein. Für dasselbe Thier gilt das aber bei wechselnder Pulsfrequenz nur mit den oben angedeuteten Einschränkungen des VIERORDT'schen Gesetzes.

Die mittleren arteriellen Blutdrücke (a) zweier Thierarten verhalten sich wahrscheinlich umgekehrt, wie die in gleichen Zeiten durch gleiche Körpergewichte fliessenden Blutmengen (b), die Produkte von a in b müssen dann gleich sein, wirklich stimmen diese Produkte nach den VIERORDT'schen Angaben auffallend überein.

	a	b	a b
Pferd . .	280 mm Quecksilber	152	425
Hund . .	150 - -	272	408
Kaninchen .	70 - -	620	434

Setzen wir a b im Mittel = 422, so berechnet sich für den Menschen ein mittlerer arterieller Blutdruck von 200 mm Quecksilber.

Accommodationserscheinungen an den Blutgefässen. Nach J. PAWLOW's Beobachtungen besteht ein physiologischer Gegensatz zwischen der Weite und dem Blutdruck in den Eingeweidegefässen, und der Weite und dem Blutdruck in den Hautgefässen. Die Folge davon ist, dass durch diesen auf einem »Thätigkeitswechsel« (J. RANKE) der Blutgefässe beruhenden Accommodationsvorgang der Blutdruck im Arteriensystem auch bei sehr beträchtlichen Veränderungen in der Blutvertheilung, z. B. bei der Verdauung, nur sehr unwesentlich verändert wird. Die Accommodation des Gefässrohrs erklärt PAWLOW aus einer mit der Erweiterung der Eingeweidegefässe reflektorisch eintretenden Verengerung der Hautgefässe. Er kam zu diesen Schlüssen durch directe Blutdruckmessungen in Hautarterien bei »tressirten« nicht curarisirten, oder curarisirten Hunden, und durch Beobachtungen der Blutgefässe am Kaninchenohr vor und während der Verdauung.

Das Volum des Herzens und die Weite der grossen Arterien. — Pubertätsentwickelung des Herzens.

Wir haben im V. Capitel an der Spitze unserer Betrachtungen über die Gesetze der Ernährung der Verschiedenheiten gedacht (S. 30), welche die Vorgänge des Stoffwechsels wie des Gesammtlebens erleiden durch den Wechsel

in der Organzusammensetzung des Gesammtorganismus. Die verschiedenen Lebensarten, die verschiedenen Geschlechter, aber auch jedes Einzelindividuum im Verhältniss zu jedem anderen lassen sich charakterisiren durch die mit der Wage festzustellenden Verschiedenheiten in der relativen Masse, in welcher die Hauptorgangruppen: Muskeln, Knochen, Nervengewebe, Blutleitungsapparat, Haut, Fettgewebe, Drüsen sich an dem Aufbau des Körpers betheiligen. Während bei dem Erwachsenen das Muskelsystem quantitativ mächtig entwickelt ist, wogegen Drüsen und Nervengewebe sehr stark zurücktreten, sehen wir die letzteren beiden Organgruppen beim Kinde relativ weit stärker an dem Gesammtgewicht des Körpers sich betheiligen, während die Muskelmasse nur etwa halb so stark wie bei dem Erwachsenen concurrirt. Weib und Jüngling stehen namentlich in der relativen Ausbildung des Drüsengewebes dem kindlichen Alter noch näher, als der erwachsene Mann. Directe Stoffwechselversuche, sowie die Erfahrungen über die verschiedene Blutvertheilung im Organismus (Cap. X) haben uns gelehrt, dass die verschiedenen Hauptorgangruppen sich in quantitativ ganz verschiedener Weise an dem Gesammtstoffwechsel des Organismus betheiligen, so dass in dieser Beziehung schon, hervorgehend aus der verschiedenen Organzusammensetzung, die wesentlichsten Unterschiede zwischen den verschiedenen Lebensaltern, Geschlechtern, Einzelindividuen sich ergeben. Die Lehre vom Thätigkeitswechsel der verschiedenen Organe hat unseren Einblick in die hier obwaltenden Verhältnisse noch wesentlich erweitert.

Die neueren Entdeckungen wesentlicher physiologischer und anatomischer Verschiedenheiten in der Weite der Blutgefässe, im Volum des Herzens und anderer wichtiger, reichlich Blut enthaltender Organe (Lunge, Leber etc.) in den verschiedenen physiologischen (und pathologischen) Zuständen, in den verschiedenen Lebensaltern und Geschlechtern bringen nach der angedeuteten Richtung weitere Fortschritte unserer Erkenntniss. Von dem von Pawlow gefundenen physiologischen Wechselverhältniss der Weite und des Blutdrucks der Hautgefässe und Baucheingeweidegefässe, welches sich als eine Art Accommodationsvorgang charakterisirt und sich direct unseren Angaben anschliesst über den Thätigkeitswechsel der Organe (cf. Cap. V, und Cap. X), war oben schon die Rede (S. 490). F. W. Beneke hat wichtige Entdeckungen über die normalen Wachsthums- und Grössenverhältnisse der einzelnen anatomischen Apparate, namentlich des Herzens und der Blutgefässe beigebracht. Es stellt sich nach Beneke heraus, dass von der Geburt bis zur Vollendung der Pubertät eine vollständige Umkehr des zwischen der Grösse des Herzens und der Weite des arteriellen Gefässsystems bestehenden relativen Verhältnisses stattfindet. In der Periode des kindlichen Alters finden wir ein relativ kleines Herz neben relativ weiten Arterien. Dies Verhältniss bleibt mehr oder weniger dasselbe bis zum Eintritt der Pubertät. Mit und während derselben und mit dem gleichzeitigen Längenwachsthum des Körpers kehrt sich dasselbe aber in Folge einer raschen Volumszunahme des Herzens und eines relativ geringen Wachsthums der Arterien im Querdurchmesser um, und nach Vollendung der Pubertät finden wir ein relativ grosses Herz neben relativ engen Arterien. Im ersten Kindesalter verhält sich das Volum des Herzens zur Weite der Aorta ascendens circa wie 25 : 20; vor Eintritt der Pubertät wie 140 : 50; im er-

wachsenen Alter wie 290 : 61. Wir müssen daraus schliessen, dass der Blutdruck des grossen Kreislaufs im Kinde ein weit geringerer ist, als im erwachsenen Menschen; daraus erklären sich zugleich die Nothwendigkeit und die Bedingungen der rascheren Arbeit des kindlichen Herzens. Da aber die Höhe des Blutdrucks ein wesentlicher Faktor ist für die Regulirung des Flüssigkeitsverkehrs zwischen Blut und Organ und damit für die Vorgänge der Ernährung, so liegt in jenen Verhältnissen zugleich eine Erklärung für die grössere Intensität des Stoffwechsels und z. Thl. auch für die rascher voranschreitenden Wachsthumserscheinungen des kindlichen Organismus. Mit dem Eintritt des für den Erwachsenen als normal zu betrachtenden relativ hohen Blutdrucks im grossen Kreislauf hört das Längenwachsthum des Körpers auf. Als Bedingung der während der Pubertätszeit eintretenden raschen Volumszunahme des Herzens: Beneke's Pubertätsentwicklung des Herzens, haben wir vor Allem das mit dem Längenwachsthum des Körpers zunehmende Engerwerden der Arterien zu betrachten. In Folge der dadurch vermehrten Herzarbeit nimmt das Herz wie alle stärker angestrengten Muskeln an Masse zu.

Ganz entgegengesetzt den Blutdruckverhältnissen im grossen Kreislauf gestalten sich nach Beneke jene im kleinen Kreislauf. Im kindlichen Alter ist die Art. pulmonalis relativ weit, die Aorta ascendens relativ eng, nach Vollendung der Körperentwickelung erreichen beide grossen Gefässe einen fast gleichen Umfang, im späteren Alter übertrifft die Pulmonalis die Aorta um ein Geringes. In den Lungen der Kinder ist daher der Blutdruck ein weit höherer, als in den Lungen Erwachsener; damit hängt es zusammen, dass die Kohlensäureausscheidung und Respirationsfrequenz eine relativ zum Körpergewicht und zur Körperlänge beim Kinde viel bedeutendere ist, als beim Erwachsenen. Auch für die Entwickelung der Lungen scheint dieses Verhältniss von Wichtigkeit zu sein, so dass eine relativ enge Pulmonalis des Kindes ein kleines, eine relativ sehr weite Pulmonalis des Kindes ein grosses Lungenvolumen bedingen würde.

Beneke hat seine Untersuchungen nicht nur auf die Aorta ascendens, sondern auch auf die Aorta thoracica und abdominalis, sowie auf die wichtigsten grossen arteriellen Gefässstämme ausgedehnt. Absolut nehmen alle Arterien von der Kindheit bis ins Alter an Weite zu, wenn auch in verschiedenem Grade. Anders gestalten sich die Resultate, wenn wir die Weite der Arterien auf gleiche Körperlänge berechnen. Es ergibt sich dann, dass alle Arterien im Kindesalter relativ weit sind, von da an im Verhältniss zur Körperlänge an Weite abnehmen bis zur Pubertätszeit, um sich dann wieder relativ zu erweitern, bis sie im senilen Alter die verhältnissmässige Weite im ersten Kindesalter wieder erreicht haben. Sehr bemerkenswerth sind die Beobachtungen, dass diese Veränderungen in der Weite der Arterien für die einzelnen Arterien bestimmte Gesetzmässigkeiten erkennen lassen und zwar für verschiedene Arterien verschiedene. Bei Kindern im ersten Lebensjahre ist die Subclavia viel mächtiger entwickelt als die Iliaca communis, sie nähern sich dann in ihren Grössenverhältnissen langsam mehr und mehr an, und im höheren Alter sehen wir das Grössenverhältniss umgekehrt wie beim Kinde. Dass diese und analoge Veränderungen in den relativen Grössenverhältnissen der Arterien mit Veränderungen in der physiologischen Thätigkeit der von den betreffenden Arterien versorgten Organe und Organgruppen einhergehen, sehen wir sehr deutlich aus

den Wachsthumsverhältnissen der Carotis communis. Wir bemerken hier anstatt einer Abnahme nach der Geburt bis ins zweite Jahr eine beträchtliche Zunahme der Weite, diese trifft zusammen mit der Periode des grössten Wachsthums des Gehirns. Nun tritt mit dem grösseren Längenwachsthum des Körpers die bei allen anderen Arterien beobachtete relative Abnahme der Weite ein. Sind die Schädelnäthe geschlossen und damit das Wachsthum des Gehirns annähernd vollendet, so bleiben die Weiteverhältnisse der Arterie in auffälligster Weise für das ganze Leben constant, im 80. Lebensjahre ist sie (Car. comm. sin.) gleich der im 8., während dieser ganzen Zeit betragen die relativen Differenzen wenig mehr als 1 mm. Im Allgemeinen erscheinen die Arterien rechterseits etwas weiter als linkerseits, namentlich für die Subclavia constatirt, was mit der stärkeren Benutzung der Muskulatur der rechten Körperhälfte zusammenzuhängen scheint. Während in den ersten 6 Lebensjahren die Carotis absolut und relativ viel weiter ist, also mehr Blut führt als die Iliaca, trittt hierin in der Pubertätszeit Gleichheit ein, mit vollkommener Ausbildung des Längenwachsthums des Körpers überwiegt dann die Iliaca die Carotis mehr und mehr, zuletzt über das Doppelte.

Das Herz zeigt nach Beneke die relativ stärkste Zunahme im ersten und zweiten Lebensjahr, am Schluss des letzteren hat sich das Volum bereits verdoppelt, von 22—44 cm. In den nächsten 5 Jahren schreitet das Wachsthum des Herzens langsamer vor bis zu 90 cm, noch langsamer bis zum 15. Jahr bis zu 150—160 cm. Nun kommt die Zeit der Pubertätsentwickelung, in welcher das Herz die oben angegebene rasche Volumszunahme erkennen lässt, indem sein Volumen bis zum 20. Jahre noch um ca. 100 cm wächst. Von da an bis zum 50. Lebensjahr wächst das Herz jährlich nur noch um etwa 1—1,5 cm. Im höheren Lebensalter folgt eine geringe Volumsabnahme, in den 70er Jahren vielleicht constant wieder eine geringe Zunahme, welche, wie die Alterserweiterung der Arterien, wohl z. Thl. auf einer Erschlaffung der Wandungen und passiven Ausweitung beruhen mag. Das Herz der Frauen ist in allen Lebensperioden kleiner, als das der Männer.

Beneke constatirte die von Engel u. A. gefundene Massen- resp. Volumsverschiedenheit des rechten und linken Ventrikels. Bei Neugeborenen verhält sich der rechte zum linken hierin etwa wie 1 : 1,4; dann wächst der linke Ventrikel weit stärker, im 3. bis 6. Lebensmonat kommt schon das Verhältniss 1 : 2,4, im 2. Lebensjahr sogar 1 : 2,7—2,89, welches von da an für das übrige Leben ziemlich constant zu bleiben scheint, und zwar für Männer wie Frauen.

Die grossen Arterienstämme nehmen sämmtlich von Anbeginn des Lebens bis zum natürlichen Ende desselben ständig an Umfang zu, relativ am stärksten in den ersten Lebensjahren, sowie in der Pubertätszeit, von da an nur langsam. Davon machen, wie wir oben schon angaben, nur die Carotiden eine Ausnahme. Die Blutvertheilung ist sonach in den verschiedenen Lebensaltern eine verschiedene.

Es unterliegt keinem Zweifel, dass mit der oben constatirten relativen Verengerung der Gefässe in der Pubertätsperiode nicht nur ein in dieser Zeit relativ am höchsten stehender Blutdruck, sondern auch eine relative Abnahme der Gesammtblutmenge Hand in Hand geht. Wie bei vielen anderen physiologischen Funktionen macht sich aber auch hier eine Art von Compensation geltend. Mit dem gesteigerten Blutdruck nimmt cet. par. die Blutbewegung zu, wodurch ein relativer, freilich nicht vollkommener Ersatz für die geringere absolute Blutmenge geboten wird.

Die verschiedene Entwickelung der Organe, unter denen Herz und Blutgefässe eine besonders wichtige Rolle spielen, geben uns in Verbindung mit den Schwankungen in dem chemischen und dem daraus hervorgehenden physiologischen Verhalten der Organe und des

Gesammtkörpers einen Einblick in die verschiedenen »Constitutionen«, deren Verschiedenheit so gross ist, wie die Anzahl der untersuchten Individuen, und welche nach BENEKE bei jedem Einzelindividuum, namentlich nach den Altersperioden, sich änderte.

Accessorische Einwirkungen auf die Blutbewegung, namentlich in den Venen.

Zur Vollendung des Kreislaufs in den Venen kommen ausser den bisher genannten noch andere Hülfskräfte zur Verwendung. Da die Venenwandungen schlaffer sind als die Arterienwandungen, so kann schon ein schwacher äusserer Druck die Wandungen zusammenpressen und das Fliessen des Blutes an den gedrückten Stellen dadurch unterbrechen. Wenn der Druck nur auf eine Vene ausgeübt wird, so kann sich wegen der vielfachen Anastomosen das Blut einen anderweitigen Ausweg suchen, im anderen Fall staut sich das Blut in den Venen an, indem die Venenklappen ein stärkeres Zurückweichen des Blutes verhindern. Die Lungen sind im Brustraume so eingefügt, dass sie etwas über ihr natürliches Volumen ausgedehnt sind. Vermöge ihrer Elasticität suchen sie sich zu verkleinern und üben dadurch einen negativen Druck auf ihre Umgebung im Thorax aus, wodurch dort alle Hohlorgane ausgespannt werden müssen. Wir sahen schon, dass darin z. Thl. der Grund für die passive Wiederausdehnung der erschlaffenden Herzhöhlen liegt, wodurch sich diese wieder aus dem venösen Blutgefässsysteme mit Blut anfüllen. Es saugt also der Thorax aus den Körpervenen (auch Lymphgefässen) Blut in die grossen, innerhalb der Brust liegenden Venen und schliesslich in das Herz. Der Blutdruck in den Venen kann dadurch entweder null werden oder in der nächsten Nähe des Brustraumes, wie wir oben sahen, sogar negativ. Wird eine solche Vene z. B. am Halse geöffnet, ohne dass ihre Wände sogleich wieder zusammenfallen können, so spritzt sie nicht, sondern kann vermöge ihres negativen Druckes Luft ansaugen, wodurch manche plötzliche Todesfälle bei Operationen hervorgerufen werden. Die eingetretenen Luftbläschen stauen sich in den Kapillaren des Herzens und unterbrechen dadurch den Blutkreislauf in demselben, wodurch das Herz fast momentan gelähmt wird. An anderen Stellen des Gefässsystemes ist der Lufteintritt ziemlich ungefährlich.

Bei der Einathmung, wobei sich die Lunge noch weiter ausdehnt, steigt der negative Druck, der Blutzufluss zum Herzen wird also dadurch beschleunigt. Umgekehrt wird der letztere durch Ausathmung aus dem entgegengesetzten Grunde etwas behindert. Im entgegengesetzten Sinne wie auf den Venenblutlauf machen sich diese Druckschwankungen auch auf den Blutlauf in den Arterien geltend. Der stärkere negative Druck während der Inspiration dehnt die Arterien in der Brusthöhle etwas aus und vermindert dadurch den Blutdruck in ihnen, umgekehrt ist es bei der Exspiration.

Während der Exspiration empfängt aber zunächst das rechte Herz, bald aber auch die Aorta weniger Blut, es steigt also der arterielle Blutdruck nur im Anfang der Exspiration, später sinkt er wieder. Das Umgekehrte ist bei der Inspiration der Fall. Unter ihrem Einfluss füllen sich alle blutführenden Organe, auch die Aorta, in der Brusthöhle stärker mit Blut an. Der arterielle Blutdruck kann also nur im Anfang der Inspiration sinken, mit der stärkeren Blutfülle der

Aorta wird er gegen das Ende der Inspiration wieder ansteigen. Diese mit den Athembewegungen synchronen Druckschwankungen in den Arterien schreiben sich bei Anwendung des Kymographions selbst als Athemcurven auf, welche viel grösser sind, als die Pulscurven. Auf jeder Athemcurve sitzen als kleinere Erhebungen die während der Zeit des Ein- und Ausathmens eingetretenen Druckschwankungen in Folge der Herzpulse auf. Während der Exspiration sind die Pulse etwas frequenter, als während der Inspiration. Die Saugwirkung der Lunge lässt sich experimentell bis in die Schenkelvene nachweisen.

Bei den Venen wirkt, wie bei den Lymphgefässen, die Anwesenheit der Klappen in gewissem Sinne befördernd auf den Blutstrom ein, indem ihrer Stellung zu Folge jeder Druck, der auf eine Vene ausgeübt wird, das Blut nur vorwärts dem Herzen zu treiben kann. Dadurch wird die Lage vieler Venen zwischen Muskeln für die Blutbewegung von Wichtigkeit, da die Muskelcontractionen durch den Druck, den sie auf die Venen ausüben, das Blut im Sinne des normalen Blutstromes vorwärts pressen, indem die Klappen ein Rückströmen verhindern. An der Oberschenkelvene gestaltet sich die Lagerung vom Knie bis zum Poupart'schen Band geradezu zu einem Saug- und Druckapparat (W. Braune).

Bei Venen, welche, wie die der Knochen, die Blutleiter der Schädelhöhle etc., vor äusserem Druck geschützt sind, fehlt das Bedürfniss der Klappen, hier fehlen letztere auch und ebenso in kleineren Venen, bei denen die reichliche Anastomosenbildung die Druckwirkung beseitigt. Ein lokaler Druck auf eine Vene mit Klappen treibt das Blut von dieser Stelle mit beschleunigter Geschwindigkeit dem Herzen zu, während es hinter der gedrückten Strecke bis zur nächsten Klappe staut, und auch hinter der Klappe findet noch, trotz der Anastomosen, eine schwache Stauung statt. Wird der Druck beseitigt, so ergiesst die stärker gespannte Vene ihren Inhalt mit entsprechend grösserer Geschwindigkeit.

Bei manchen Venen wirkt auch die Schwerkraft für die Blutbewegung in ihnen förderlich. Es ist klar, dass dieses bei den Venen des Kopfes und Halses bei aufrechter Stellung der Fall sein muss. Auf die venöse Blutbewegung in den unteren Extremitäten wirkt sie dagegen verlangsamend, worauf man die häufigen Venenerweiterungen an den unteren Extremitäten bei Leuten mit vorwiegend stehender Beschäftigung zu beziehen pflegt. Die praktische Chirurgie macht von dem Einfluss der Schwere auf die Blutbewegung eine sinnreiche Anwendung, indem sie durch höhere Lagerung entzündeter Gliedmassen den venösen Blutabfluss aus ihnen erleichtert. Diese einfache antiphlogistische Methode hat oft grössere Wirkung, als lokale Blutentziehung.

Das wichtigste unter den accessorischen Momenten bei der Blutbewegung bleibt jedoch immer die Aspiration durch den Thorax und der Einfluss der Athembewegungen.

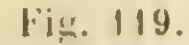
Rüdinger macht darauf aufmerksam, dass bei den durch knöcherne Canäle hindurchgehenden Arterien die Pulsation dadurch ermöglicht wird, dass sie von einem Ring, gleichsam von einer Scheide venöser Gefässe umgeben sind, welche bei der Ausdehnung der Arterie comprimirt werden. Dadurch wird die Pulsation in der Arterie für diese Venen aber auch zu einer accessorischen Unterstützung der Blutbewegung. Diese Verhältnisse sind gegeben z. B. im carotischen Canal, bei der Arteria

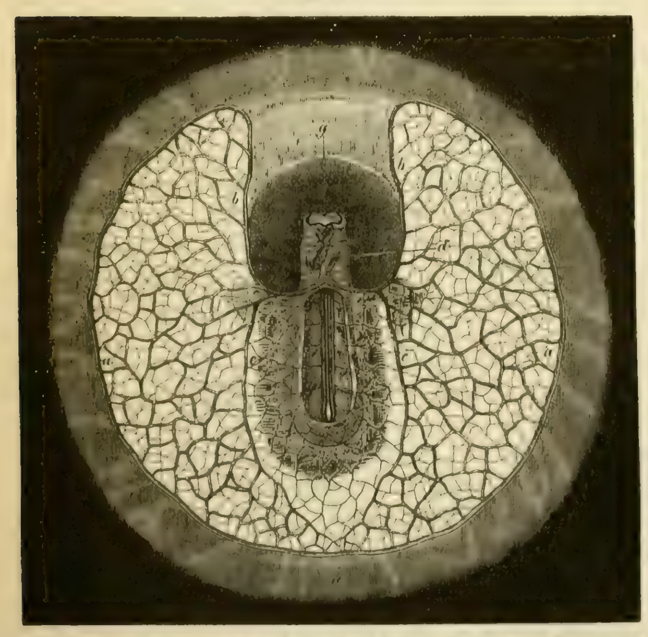
vertebralis in den knöchernen Ringen der Querfortsätze der Halswirbel, sowie bei allen Knochenvenen.

Die Blutbewegung in den Venen zeigt, da sie einigen unregelmässig wirkenden Einflüssen unterliegt, weit öfter Störungen, als in den Arterien.

Dieselben Momente, welche wir an der Bewegung des venösen Blutes theilnehmen sahen, kommen auch bei der **Lymphbewegung** zur Geltung. Auch hier werden die Klappen wirksam; auch hier macht sich die Aspiration des Thorax geltend, da ja die Lymphgefässe in offner Verbindung mit den Venen stehen. Der Milchbrustgang, Truncus lymphaticus communis sinister, mündet in den Vereinigungswinkel der V. subclavia sinistra und V. jugularis comm. sinistra ein. Der rechte Lymphgefässstamm, Truncus lymphaticus communis dexter, geht in die Vena subclavia dextra. An den Einmündungsstellen finden sich Klappen, links zwei, rechts eine, von halbmondförmiger Gestalt, welche das Eindringen von Venenblut unmöglich machen.

Bei starken Ausathmungsbewegungen, z. B. Husten, staut sich das Blut in den Venen des Halses und Kopfes an. Verschliesst man Mund und Nase und macht dabei eine starke Ausathmungsbewegung, so nimmt die Füllung des Herzens mit Blut rasch ab, der Puls wird sehr klein. Man kann durch diese Compression des Brustraums die Spannung in demselben sogar wahrscheinlich zu einer positiven machen, wodurch dann das Fliessen des Venenblutes zunächst zum rechten Herzen mehr und mehr aufhört. Ed. Weber zeigte, dass im höchsten Grade der Wirkung die Systolen nicht mehr im Stande sind, die geringe Blutmenge im Ventrikel gehörig zu spannen, um sie in die Arterie einzutreiben. Der Puls bleibt dann aus, und es kann Ohnmacht eintreten. Ein Theil der Wirkung rührt wohl aber auch von der Vaguszreizung her, welche in Folge der Kohlensäureanhäufung im Blute des Vaguscentrums eintritt.


Fig. 119.



Fruchthof eines Kaninchens mit Embryo von der Bauchseite, von 1 Par. Linien Durchmesser, mit vollkommen entwickeltem erstem Gefässsystem. Nach Bischoff, etwas verkleinert. *a* Vena oder Sinus terminalis, *b* Vena omphalo-mesenteria, *c* starker hinterer Ast derselben, *d* Herz, schon S-förmig gebogen, *e* primitive Aorten oder Arteriae vertebrales posteriores, *ff* Art. omphalo-mesentericae, *g* primitive Augenblasen. Man sieht das feinere oberflächliche (nach aussen gelegene) mehr arterielle und das stärkere tiefe, mehr venöse Gefässnetz im Fruchthof.

Zur Entwickelungsgeschichte des Gefässsystems. Fortsetzung (cfr. oben S. 469). Das erste Gefässsystem. Die erste Embryonalanlage besitzt weder Gefässe noch Blutkreislauf. Der erste Kreislauf hat zunächst die Aufgabe, aus dem Inhalt der vom mütterlichen Organismus stammenden Keimblase Nahrungsmaterial aufzunehmen, das, da der Embryo selbst noch keine feineren Gefässverzweigungen besitzt, vor Allem dem Wachsthum des Fruchthofes zu dienen hat. Die

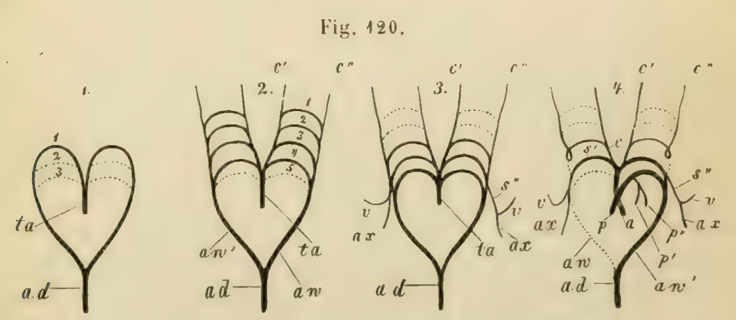
Embryonalanlage scheint in dieser Periode (KÖLLIKER) noch auf eine directe Aufnahme von Flüssigkeit aus der Keimblase besonders durch die Zellen seines Darmdrüsenblattes angewiesen zu sein.

Aus dem oberen Theil des noch S-förmig gebogenen einkammerigen Herzens (S. 454) gehen zwei Arcus aortae hervor, die sich zuerst nach oben zur Wand der Kopfdarmhöhle wenden, um dann längs der hinteren Mittellinie zu verlaufen. Sie vereinigen sich bald zu einem kurzen, einfachen Aortenstamm, der sich wieder in zwei parallele Aeste spaltet, die Arteriae vertebrales posteriores oder primitive Aorten, die unterhalb der Urwirbel neben der Chorda gelegen (Fig. 119) bis zum Ende des Embryo gelangen. Hierbei geben sie je 4—5 Aeste: Arteriae omphalo-mesentericae oder Nabelgekrösarterien ab. Diese treten, ohne dem Embryo selbst Zweige abzugeben, in den Fruchthof, wo sie über die ganze Fläche des Fruchthofs mit den den Embryo ebenfalls verlassenden Ausläufern der primitiven Aorten ein oberflächliches, ziemlich dichtes Gefässnetz bilden. Am Rande des Fruchthofs mündet dieses Gefässnetz in eine starke Vene, Vena s. Sinus terminalis, die beinahe den ganzen Fruchthof umkreist. Am Kopfe biegt sie sich gegen den Embryo mit zwei Stämmen, Vv. omphalo-mesentericae, Nabelgekrösvenen, um, welche in das hintere Ende des Herzens einmünden, nachdem sie noch zwei hintere Venenstämme aufgenommen haben. Die Venen hängen durch ein ähnlich zierliches, aber etwas weiteres und tiefer liegendes Gefässnetz unter einander wie die Arterien zusammen.

Der Placentarkreislauf hat schon S. 55 Erwähnung gefunden (cf. S. 504). Oben sahen wir, dass das entwickeltere Herz nach vorne zunächst den Truncus arteriosus entsendet, der sich nach kurzem Verlauf in die zwei Arcus aortae spaltet, die in der Wand der Kopfdarmhöhle bogenförmig und konvergirend nach hinten laufen und sich vereinigen. Hinter dem ersten Aortenbogen, gleichsam als Queranastomosen seiner beiden Schenkel, entstehen noch zwei Aortenbogen, der Innenfläche der Kiemenbogen entsprechend (Fig. 45, S. 47). In der Folge entstehen noch weitere zwei Aortenbogen, doch schwinden gleichzeitig die vorderen wieder, so dass meistens nicht mehr als drei Paare gleichzeitig vorhanden sind.

Die Aortenbogen entsprechen den Kiemenbogen, und sie erscheinen als eine Wiederholung des ersten Entwickelungszustandes der Kiemengefässe der Fische und Batrachier. Bei den höheren Wirbelthieren, bei welchen sich keine Kiemen ausbilden, vergeht ein Theil der Aortenbogen wieder, und der sich erhaltende Theil findet eine ganz andere Verwendung, als bei den durch Kiemen athmenden Thieren. Die Umbildung ist in Fig. 120 schematisch dargestellt.

Fig. 120.



Schema zur Darstellung der Entwickelung der grossen Arterien mit Zugrundelegung der von RATHKE gegebenen Figuren. 1. Truncus arteriosus mit ein Paar Aortenbogen und Andeutung der Stellen, wo das zweite und dritte Paar sich bildet. 2. Truncus arteriosus mit vier Paar Aortenbogen und Andeutung der Stelle des fünften. 3. Truncus arteriosus mit den drei hinteren Paaren von Aortenbogen, aus denen die bleibenden Gefässe sich entwickeln, und Darstellung der obliterirten zwei vorderen Bogen. 4. Bleibende Arterien in primitiver Form und Darstellung der obliterirten Theile der Aortenbogen. *ta* Truncus arteriosus, 1—5 erster bis fünfter Aortenbogen, *a* Aorta, *p* Pulmonalisstamm, *p' p''* Aeste zur Lunge, *aw'* bleibende Wurzel der Aorta thoracica *a d*, *a w* obliterirende Wurzel derselben, *s' s''* Subclaviae, *v* Vertebralis, *a x* Axillaris, *c* Carotis communis. *c'* Carotis externa, *c''* Carotis interna.

Im Wesentlichen entwickeln sich die bleibenden grossen Arterien aus den drei letzten Aortenbogen, doch erhält sich in der Carotis interna (c'') und Carotis externa (c') auch ein Theil des ersten und zweiten Bogens. Von den drei letzten Aortenbogen wird der oberste (der dritte in Fig. 120) zum Anfang der Carotis interna, die Carotis communis (c) entwickelt sich aus dem Anfang des ursprünglich ersten Arcus aortae. Der zweite bleibende (der vierte der ganzen Reihe) Aortenbogen tritt nach der Trennung des Truncus arteriosus in Aorta und Pulmonalis auf beiden Seiten mit der Aorta in Verbindung, links wird er zum bleibenden Arcus aortae, rechts liefert er den Truncus anonymus und den Anfang der Subclavia dextra (s'). Die Verbindungen zwischen dem ersten und zweiten bleibenden Bogen (in der Abbildung Fig. 120 durch punktirte Linien angedeutet) verschwinden. Der dritte und innerste der bleibenden Bogen (der fünfte der ursprünglichen Zahl) verschwindet rechts ebenfalls vollständig, links verbindet er sich mit der Pulmonalis und entwickelt die beiden Lungenarterienäste (p' p''), bleibt aber während der ganzen Foetalperiode mit dem bleibenden Arcus aortae in Verbindung (Ductus Botalli), so dass das Blut der rechten Kammer in die Aorta descendens sich entleert.

Bei den durch Kiemen athmenden Thieren entwickelt sich von den Aortenbogen, die hier meist zahlreicher angelegt sind, als bei den Säugern, in die sich bildenden Kiemenblättchen ein Blutgefässnetz, welches sich in Kapillaren auflöst und schliesslich wieder in grössere Gefässe gesammelt wird, welche in die Aorta einmünden. Die ursprünglich einfachen Aortenbogen werden hier sonach in ihrer Mitte in ein Kapillarsystem verbreitert, das der Athmung in den Kiemen vorsteht. Die zuführenden, venöses Blut enthaltenden Gefässe sind die Kiemenarterien, die aus den Kiemenkapillaren sich sammelnden, arterielles Blut enthaltenden Gefässe sind die Kiemenvenen. Ueber das Herz der Fische und anderer Thiere cf. oben S. 459.

III. Ausscheidungen aus dem Blute.

Dreizehntes Capitel.

Die Athmung.

Lunge und Athembewegungen.

Begriff der Athmung.

Der Process der Athmung, der Wechselverkehr des Organismus mit der Atmosphäre, zerfällt in zwei wesentlich getrennte Vorgänge.

Ueberall, wo das Blut, das den Wechselverkehr des Organismus mit der Luft besorgt, mit dieser in so directe Berührung kommt, dass eine Gasdiffusion eintreten kann, sehen wir Sauerstoff aus der Luft in das Blut aufgenommen und Kohlensäure und Wasser dafür ausgeschieden. Es findet sich dieser Vorgang vor Allem an den Lungen, aber auch an der Haut, deren reich mit Blutgefässen umsponnene Drüsenöffnungen der Luft nahen Zutritt zum Blute gestatten, und auch an den Schleimhäuten des Digestionscanales wird der Sauerstoff der dahin gelangenden Luft aufgesaugt und dafür Kohlensäure ausgeschieden. Dieser Verkehr des Blutes mit der Luft kann als äussere Athmung bezeichnet werden.

Die innere oder Gewebsathmung beruht auf dem gegentheiligen Vorgange. Die Gewebe, welche das Blut umspült, nehmen aus ihm den Sauerstoff auf und beladen das Blut dafür mit Kohlensäure, die sie durch ihre Thätigkeit erzeugt haben.

Der Bau der Lunge.

Die Lunge ist eine Drüse. Man hat darin einen Unterschied finden wollen, dass sich in der Lunge ein zweifacher Vorgang: eine Stoffabgabe — CO_2 — und eine Stoffaufnahme — O — findet, während sich bei den übrigen Drüsen mit Ausführungsgängen zunächst nur eine Stoffabgabe bemerklich macht. Die neuere Forschung hat jedoch bei einer Reihe von Drüsen eine gleichzeitige Stoffaufnahme in das Blut neben der Abgabe erwiesen. Am bekanntesten ist dieses von der Leber, bei welcher neben der Abgabe von Stoffen zu der Gallebildung eine Aufnahme der in den Drüsenzellen gebildeten glycogenen Substanz resp.

des daraus entstehenden Zuckers von Seite des Blutes stattfindet. Das Charakteristische des Lungenbaues liegt darin, dass es sich in ihr nicht um Aufnahme und Abgabe von tropfbaren Flüssigkeiten, sondern von Gasen handelt. Für diesen Zweck erleidet das allgemeine Schema der traubenförmigen Drüse, nach dem die Lunge gebaut ist, einige Abänderungen.

Vor Allem ist es der Ausführungsgang der Lunge, die Trachea, die Luftröhre, welche sich von den Ausführungsgängen anderer Drüsen unterscheidet. Die Luftröhre besitzt knorpelige Wände, welche sich durch den wechselnden Luftdruck nur wenig zusammenpressen oder ausdehnen lassen, so dass sie als offener Weg die Lunge mit der Atmosphäre verbindet. Ein häutiger Ausführungsgang würde dieser Aufgabe nicht entsprechen, da ein solcher meist nur dann einen wirklichen Hohlraum umschliesst, wenn irgend ein Körper, eine Substanz, z. B. das Drüsensekret, hindurchgeht, sonst liegen die Wände direct an einander an. An solchem Zusammenfallen wird die Luftröhre durch die sie bis auf eine kleine Strecke an der hinteren Seite umgreifenden Knorpelringe verhindert. Letztere werden zwar in den engeren Bronchien etwas unregelmässiger, aber erst den Aestchen von 1 mm Durchmesser fehlen sie ganz, wofür in der Wandung reichliche elastische Fasern auftreten. Den etwas weiteren sind die Ringe durch unregelmässig gestaltete Knorpelplatten ersetzt. Der knorpelige Theil wird von aussen von einem fibrösen, mit elastischen Fasern gemischten Gewebe überzogen, äussere Faserschicht. Die mittlere Schicht der Luftröhre bilden die Knorpelringe. An der Stelle, an der sie hinten offen stehen, ersetzt die Mittelschicht eine Lage quergerichteter glatter Muskeln. An der äusseren Seite finden sich einzelne Muskelstreifen mit Längsbündeln. Diese Knorpelmuskelschicht wird durch eine Lage Bindegewebe: innere Faserschicht, die durch eine hyaline Grenzschicht, Basalmembran, begrenzt wird, mit der Schleimhaut, der innersten Schicht verbunden. Diese besteht in ihren innersten, ein geschichtetes Flimmerepithel tragenden Lagen fast ausschliesslich aus dichtverbundenen, der Länge nach verlaufenden elastischen Fasern. Zwischen den mit nach dem Ausgang zu schlagenden Wimpern besetzten cylindrischen Flimmerzellen stehen ziemlich gleichmässig vertheilt in reichlicher Anzahl Becherzellen, oben mit einer rundlichen Oeffnung, aus welcher eine schleimartige Masse hervorragt und sich ablösen kann. Sie stehen vielleicht an Stelle einzelliger Schleimdrüsen. Ihr Entdecker ist F. E. SCHULZE. In der Schleimhaut sind viele Schleimdrüsen eingebettet von demselben Bau, der uns von der Schleimhaut der Mundhöhle etc. her bekannt ist. Die Drüsenbläschen der grösseren von diesen Drüsen sind mit Pflasterepithelzellen ausgekleidet. Es kommen aber auch sehr einfache gabelige Drüsenschläuche vor, die ein Cylinderepithel führen. Während die Luftröhre wenig Blutgefässe und Nerven besitzt, ist sie dagegen reich an Lymphgefässen.

Fig. 191.



Epithel eines 1 mm starken Bronchialzweiges vom Hunde, frisch. Vergr. 320.

Die Lungen selbst sind zwei grosse dünnwandige, gewöhnlich mit Luft erfüllte, elastische Säcke, deren einzelne traubenförmige Ausbuchtungen mit

den Blutgefässen, Nerven und Lymphgefässen durch ein bindegewebiges Zwischengewebe verbunden werden. Von aussen sind sie überzogen von einer serösen Haut: Brustfell oder der Pleura, welche in ihrem Baue sich an das Bauchfell etc. anschliesst. Sie besitzt Blutgefässe und Nerven, an denen Kölliker Ganglienzellen nachweisen konnte.

Jede Lunge besteht dem Wesen nach aus der Verästelung ihres Luftröhrenastes — Bronchus dexter und sinister —. Die Bronchien verästeln sich wie die Ausführungsgänge der anderen traubenförmigen Drüsen baumförmig, indem sich jeder grössere Ast meist in zwei, unter spitzem Winkel abtretende Zweige spaltet. Die Zweige setzen diese Verästelung in derselben Weise fort, bis endlich eine sehr grosse Anzahl zarter und enger Bronchialzweige entstanden ist, die einen reich verästelten Baum darstellen. Nirgends communiciren diese feinsten Endröhrchen der Bronchien mit einander. Sie finden sich in der ganzen Lunge, ebenso an der Lungenoberfläche wie im Innern. Die feinsten Bronchialzweige hängen mit den der Athmung dienenden Drüsenelementen der Lunge, mit den Lungenbläschen, den Alveolen der Lunge zusammen, indem jeder mit einer Gruppe solcher Bläschen, die den kleinsten Läppchen traubenförmiger Drüsen entsprechen, sich vereinigt (Fig. 122). In dieser Bläschengruppe stehen alle sie zusammensetzenden Hohlräume oder Ausbuchtungen in inniger, ziemlich offener Verbindung, umschliessen einen gemeinsamen Hohlraum, der sich aufwärts in einen einzigen Bronchialzweig verwandelt. Dadurch unterscheidet sich die Lunge etwas von den traubenförmigen Drüsen. Bei den anderen Drüsen dieser Gattung hängt bekanntlich jedes einzelne Drüsenbläschen gleichsam an einem besonderen Stiele an seinem eigenen Ausführungsgange. Bei der Lunge haben dagegen alle zusammen ein Drüsenläppchen darstellenden Bläschen nur einen einfachen Ausmündungsgang. Jedes solche Lungenläppchen hat eine birnförmige oder trichterartige Gestalt mit vielfach ausgebuchteten Wandungen, Luftzellen. Die Trichterform hat ihm den Namen Infundibulum eingetragen. Die Alveolen selbst sind rundlich, nur an der Lungenoberfläche durch gegenseitige Abplattung mehr eckig.

Fig. 122.



Zwei kleine Lungenläppchen *a a* mit den Luftzellen *b b* und den feinsten Bronchialästen *c c*, an denen ebenfalls noch Luftzellen sitzen. Von einem Neugeborenen. 25 mal vergr. Halb schematische Figur.

Der Bau der Bronchialzweige unterscheidet sich von dem der Trachea nicht nur durch die erwähnte Umgestaltung der Knorpelringe in unregelmässige Platten, sondern auch dadurch, dass die glatten Muskelfasern bei ihnen eine vollständige Ringfaserlage bilden, die an der Stelle, wo der Uebergang in die Infundibula erfolgt, zu einem förmlichen »Sphincter« sich verstärkt und schleifenförmige Faserzüge bis zum Grund der Infundibula entsendet (Rindfleisch). Ihre Schleimhaut trägt dieselben Flimmerzellen wie die der Trachea. Remak wollte noch in den feinsten Bronchien traubenförmige Schleimdrüsen gefunden

haben, F. E. SCHULZE vermisste sie dort. In weiteren Aestchen finden sie sich sehr zahlreich. Gegen das Ende der feinsten Bronchialzellen werden die Epithelzellen niedriger und nehmen endlich die Plattenform an. Die Lungenbläschen — Alveolen — bestehen nur aus einer Faserhaut und Epithel. Die Faserlage besteht aus faserigem Bindegewebe mit elastischen Elementen und ist als Fortsetzung der Bronchialgewebe aufzufassen. Die elastischen Fasern bilden in ihr ein Balkennetz, von welchem das zartere, oft fast structurlos erscheinende Bindegewebe der Bläschenwand ausgespannt und gestützt wird (Fig. 123). Die Kapillargefässe liegen nur bis höchstens zur Hälfte in die Membran der Alveolen eingebettet, mit dem übrigen Theil ihrer Seitenwandung ragen sie in das Lumen der Alveolen hinein. Die Innenwand der Alveolen, sowie der ganzen Infundibula und Alveolengänge ist von einem continuirlichen, aber nur bei dem Fötus gleichartigen, bei dem Erwachsenen ungleichartigen Epithel ausgekleidet. Beim Fötus sind die Epithelzellen platt, 4- bis 6-eckig, bei Individuen, die, wenn auch noch kurz geathmet haben, werden einige der Zellen grösser, heller, die Kerne verblassen, später werden sie zu grossen Zellen, unregelmässig eckigen oder leicht wellig begrenzten, dünnen, structurlosen Platten, zwischen denen nur noch einzelne den fötalen ähnliche Epithelzellen liegen (F. E. SCHULZE).

Die einzelnen Abschnitte der Lunge werden durch lockiges Bindegewebe zusammengehalten, das durch seine bei dem erwachsenen Menschen reiche **Einlagerung von schwarzem Lungenpigment**, das bei Thieren meist fehlt, ausgezeichnet ist. Das Pigment besteht entweder aus unregelmässigen oder mehr krystallinischen Körnchen, die sich manchmal auch in der Wand der Lungenbläschen selbst finden; es ist nicht in Zellen eingeschlossen. Das Pigment entsteht sicher zum Theil aus dem Blutfarbestoff, zum Theil ist es aber eingeathmeter und festgesetzter Staub, z. B. Kohlenstaub, an dem sogar hier und da noch die mikroskopische Structur der Pflanzentheile erkennbar ist (TRAUBE, VIRCHOW u.A.). Durch diese Pigmenteinlagerungen, welche bei Individuen, die viel im Staube von Eisenoxydul arbeiten, ziegelroth erscheinen, werden die aus Lungenbläschen sich zusammensetzenden Läppchen auch für das freie Auge anschaulich gemacht. Gewöhnlich ist eine Gruppe von neben einander liegenden primären Läppchen zu einem secundären,

Fig. 123.



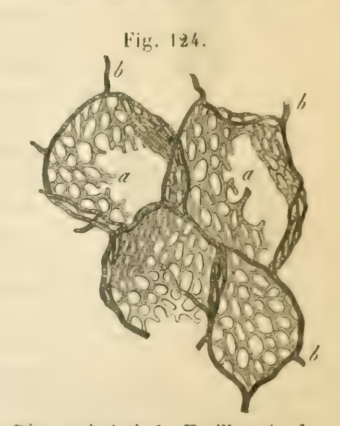
Durchschnitt durch die Lungensubstanz eines Kindes von 9 Monaten (nach ECKER). Eine Anzahl von Lungenzellen *b*, umgeben von den elastischen Fasernetzen, welche balkenförmig jene umgrenzen und mit der structurlosen dünnen Membran die Wandungen derselben *a* bilden; *d* Theile des Kapillarnetzes mit seinen rankenartig gekrümmten und in die Hohlräume der Lungenzellen einspringenden Röhren; *c* Reste des Epithelium.

grösseren Läppchen durch stärkere Pigmentablagerung abgegrenzt. Diese letzteren bilden auch, da sie von einem Bronchialzweige versorgt werden, eine grössere anatomische Einheit.

In Bezug auf die **Gefässe** lässt sich die Lunge mit der Leber vergleichen, indem sie wie diese drei verschiedene Gefässarten enthält, die sich in ein ungemein reiches Kapillarnetz auflösen. Bei Lungen, deren Blutgefässe man mit einer gefärbten Masse eingespritzt hat, gewinnt es den Anschein, als setze sich die Wand der Alveolen nur aus Blutgefässen zusammen. Ein ähnliches Bild gibt die mikroskopische Beobachtung der lebenden Froschlunge, wo das Blut über die Alveolen scheinbar in breitem Bette sich ergiesst, aus dem man die kapillaren Wände, die dasselbe durchschneiden, kaum wahrnehmen kann. Das Netz der Lungenkapillaren ist das feinste im ganzen Körper und umspinnt die Luftzellen sehr vollkommen.

Die Aeste der Pulmonalarterie, welche das venöse Blut des rechten Herzens in die Lungen führt, verzweigen sich in der Lunge meist den Bronchien entsprechend, doch etwas rascher, so dass sie früher als die letzteren zu feinen Gefässchen werden. Schliesslich erhält jedes secundäre Läppchen seine Arterie, die sich wieder nach der Zahl der primären Läppchen in feinste Zweige spaltet, welche die einzelnen Alveolen versorgen (Fig. 124). Diese Zweige der Art. pulm. verlaufen anfänglich in dem Zwischengewebe der Läppchen, dann treten sie in die Wandung der Luftzellen selbst ein und verbreiten sich dort besonders in den elastischen Faserzügen. Erst hier lösen sie sich in das Kapillarnetz auf. Aus diesem setzen sich die Venen zusammen, die an den Lappen etwas oberflächlicher liegen und in ihrem weiteren Verlaufe den Arterien und Bronchien sich anschliessen. An Injectionspräparaten sieht man, dass jedes feinste Arterienästchen sich an dem Kapillarnetze mehrerer neben einander liegender Läppchen betheiligt. Die feinsten Arterienästchen selbst zeigen hier und da Verbindungen unter einander. Neben diesen für die eigenthümliche Function der Lunge bestimmten Gefässen besitzt diese noch ein eigenes Gefässsystem zur Ernährung ihres Gewebes, die sogenannten Bronchialarterien. Diese führen den Bronchien arterielles Blut zu, geben Aeste für die Lymphdrüsen an den grösseren Bronchien, die sog. Bronchialdrüsen, ab und versorgen die Blutgefässe der Lunge, besonders die Arterien, reichlich mit Ernährungsgefässen. Auch die Pleura erhält durch sie das nöthige arterielle Blut. Die Kapillaren der Bronchialarterien scheinen ihr Blut theilweise dem des Kapillarnetzes der Lungenarterie zuzumischen, ein anderer Theil wird durch ein eigenes Venensystem (Venae bronchiales) abgeführt.

Fig. 124.



Das respiratorische Kapillarnetz der Pferdelunge nach einer GERLACH'schen Injection. *b* Die die einzelnen Lungenbläschen mehr oder weniger ringförmig umgebenden Endäste der Arteria pulmonalis; *a* das Haargefässsystem.

Die Lunge ist sehr reich an **Lymphgefässen**, die nicht nur ein reiches Netz über der Lungenoberfläche bilden, sondern auch vielfach in dem Gewebe selbst sich verzweigen und mit zahlreichen Lymphdrüsen: Pulmonal- und Bronchialdrüsen zusammenhängen.

Vagus und Sympathicus senden ihre Zweige in die **Nervengeflechte** — Plexus pulmonalis anterior und posterior —, von denen die Zweige an und in die Lunge treten, um sich an den Gebilden derselben zu verästeln. Im Lungengewebe selbst sah man Ganglienzellen eingelagert, sie finden sich namentlich an den Stellen, wo die Nervenstämme sich theilen und wo sie sich mit Alveolensepta durchkreuzen; in den subepithelialen Schichten bilden die (amyelinen) Nervenfasern Netze, in deren Knotenpunkten Nervenzellen liegen (EGOROW, S. 501).

Zur Entwickelungsgeschichte. — Die Lunge tritt als Anhangsdrüse des Darmcanals auf. Sie erscheint beim Hühnchen zuerst als eine hohle Auftreibung der Wand des Vorder-

darms, aus seinen beiden Schichten, Epithelrohr und der Faserwand (Remak), bestehend. Sie entsteht bei dem Hühnchen etwas später als die Leber, aber schon am dritten Tage fand v. Baer die Lungenanlage dicht hinter der letzten Kiemenspalte zu beiden Seiten der Speiseröhre. Die erste Bildung der Lunge scheint bei Säugethieren und Menschen wie bei den Vögeln zu verlaufen. Bischoff sah bei einem Hundeembryo, dessen Darm in der Mitte noch eine weite offene Verbindung mit dem Dottersack erkennen liess, die Lungenanlagen als zwei kleine dickwandige Ausstülpungen, die noch jede für sich im Anfang der Speiseröhre dicht hinter dem Schlunde einmündeten (Fig. 125); sie besteht aus einer unverhältnissmässig dicken, aus Zellen bestehenden Faserhaut und einem inneren dünneren Epithelialrohr.

Rathke, Coste und Kölliker fanden bei etwas entwickelteren Embryonen (Schaf 11 mm, Mensch von 25—28 Tagen) die Lunge als zwei kleine birnförmige, mit einer einfachen Höhlung versehene Säckchen, welche durch einen kurzen Gang in das Ende des Schlundes mündeten. Bei der weiteren Lungenentwickelung wuchert die Faserschicht fort, das innere Epithelrohr erzeugt hohle Aussackungen und Knospen, die bald (bei dem Menschen von der 5. Woche beginnend) in jeder Lunge ein Bäumchen von hohlen Canälen mit kolbig angeschwollenen Enden bilden, das immer neue hohle Knospen treibt und auf diese Weise das respiratorische Höhlensystem liefert. Schon bei der Besprechung der Entwickelung des Herzens wurde der eigenthümlichen primären Lage der Lungen gedacht (S. 401). Noch im Anfang des zweiten Embryonalmonats nimmt das Herz die ganze Breite und Tiefe des Brustraums ein, unter demselben neben Speiseröhre und Magen, zwischen der Leber und dem Wolff'schen Körper (cf. Harnorgane) liegt die Lunge, schon über dem Zwergfell, dessen Lendentheil vornehmlich einen trichterförmigen, die Lunge eng umschliessenden Sack bildet. Im 3. Monat hat sie für ihre typische Lage neben und hinter dem Herzen Raum gewonnen, indem der Brustraum sich vergrösserte, während das Herz in seinem Wachsthum relativ zurückblieb. Die Entwickelung der Pleura entspricht der des Bauchfells.

Fig. 125.



Darm des Hundeembryo von unten vergr. dargestellt. Nach Bischoff. *a* Kiemen- oder Visceralbogen, *b* Schlund- und Kehlkopfanlage, *c* Lungen, *d* Magen, *f* Leber, *g* Wände des Dottersackes, in den der mittlere Theil des Darmes noch weit übergeht. *h* Enddarm.

Die Placenta ist das Athem- und Ernährungsorgan des Embryo. Die Placenta foetalis entsteht aus dem der Uteruswand zugewendeten Theil des Chorion, indem an dieser Stelle die Chorionzotten, in welchen sich nur hier die embryonalen Placentargefässe: die zwei Arterien und die Vena umbilicalis verbreiten, eine sehr bedeutende Entwickelung und mannigfachste Verästelung erfahren. Die letzten Enden der so entstehenden Zottenbäumchen sind sehr verschieden gestaltet, kolbig aufgetrieben oder fadenförmig und bleiben ohne Ausnahme frei, ohne nahe Verschmelzung mit dem mütterlichen Theil der Placenta. Sie zeigen alle aussen eine Epithelschicht aus Pflasterzellen. In jede Zotte tritt ein Ast der Umbilicalarterie ein, der sich bis in die letzten Zottenausläufer verzweigt oder einfach schlingenförmig in die Vene übergeht. Die Gefässe des in sich geschlossenen Placentargefässsystems werden von der mütterlichen Placentarbildung (Placenta uterina) nur durch das dünne, offenbar sehr leicht für den Flüssigkeitsverkehr durchdringliche Epithel der Zotten getrennt. Die Blutgefässe der mütterlichen Placenta bestehen aus Arterien und Venen, welche aber nicht durch ein Kapillarsystem, sondern durch ein System anastomosirender Lücken zusammenhängen, welche ganz und gar von den fötalen Chorionzotten getragen werden, so dass die Chorionzotten in diesen Bluträumen der mütterlichen Placenta liegen. Das Blut der Mutter umspült also die fötalen Zotten unmittelbar, so dass ein respiratorischer, ernährender und sekretorischer Stoffaustausch zwischen dem mütterlichen und embryonalen Blute stattfinden kann. Die Zotten hän-

gen wie *freie Kiemen* in die sauerstoffhaltige Ernährungsflüssigkeit hinein. Wie bei dem Menschen ist bei den Carnivoren, Nagethieren und Affen der fötale und der mütterliche Theil der Placenta untrennbar verbunden, so dass mit dem Gebärakt ein Losreissen des mütterlichen Placentatheils von der Anheftungsstelle stattfinden muss. Bei den Wiederkäuern sind Frucht- und Mutterkuchen ohne Zerreissung trennbar, obwohl die Vereinigung eine sehr innige ist. Bei den Pachydermen u. a. *fehlt eine wahre Placenta*, das Ei, z. B. des Schweines, ist mit dem Uterus ganz lose verbunden, das Chorion trägt fast auf seiner ganzen Oberfläche kleine Zottchen, welche in leichte Vertiefungen der Uterinschleimhaut eingreifen.

Zur vergleichenden Anatomie. — *Die Lunge der Vögel* liegt im hintersten Theil der Brusthöhle, mit den Rippen verwachsen, Brust und Bauchhöhle sind nicht durch ein Zwerchfell getrennt. Die Lungenoberfläche zeigt *Oeffnungen*, welche die Luft aus den Lungen in grosse zellige Lufträume in dem Herzbeutel und zwischen den Eingeweiden des Unterleibs führen. Diese Lufträume stehen durch besondere Oeffnungen mit den hohlen Knochen in Verbindung, so dass viele *Knochen der Vögel* mit Luft gefüllt sind, *pneumatische Knochen*. Die Luftröhrenzweige bilden zuletzt kurze, blinde, pfeifenartig neben einander liegende Röhren, *Lungenpfeifen*, welche mit einander communiciren. Die feinsten Canälchen zeigen Ausbuchtungen und gehen endlich in ein schwammiges Gewebe über. Bei der Reihe der *Wirbelthiere* sehen wir die Lunge von einfach sackartiger Anlage sich allmälig zu dem complicirten Organe entwickeln, das wir bei den Vögeln und Säugern finden. Unter den *Fischen* verwandelt sich bei den *Dipnoi* die *Schwimmblase* in eine Lunge, indem zuführende Venen und abführende Arterien das Organ, das sonst noch ziemlich den Bau einer Schwimmblase zeigt, nun als wahres Athmungsorgan erscheinen lassen (GEGENBAUR). Bei den *Amphibien* sind die Lungen auch noch Säcke mit zellenförmigen Vorsprüngen im Innern zum Zwecke der Oberflächenvermehrung. Bei den *Reptilien* vergrössert sich die athmende Fläche durch Vermehrung der Luftzellen. Bei den Schlangen, Krokodilen und Schildkröten ist schon jede Lunge in mehrere grössere und kleinere Abschnitte getheilt, die aber noch durch weite Räume communiciren. Bei den Schlangen zeigen die Lungen, indem sie sehr lang werden, eine Anpassung an die Körperform, die eine verkümmert dabei mehr oder weniger, oder auch gänzlich.

Die wesentlichen Athemapparate der *Fische* sind der Athmung im Wasser angepasst: *Kiemen*, auch sie sind Gebilde, welche von der Wand des Darmrohres her entstehen wie die Lungen. Sie stehen mit Theilen des Visceralskeletes, den *Kiemenbogen*, in Zusammenhang, indem der Abschnitt des Nahrungscanals, welchen jene umziehen, als Athmungshöhle, *Kiemenhöhle*, fungirt. Der wesentlichste Charakter aller Kiemenbildung liegt in einer gegen das zu respirirende Medium gerichteten Oberflächenvermehrung der respiratorischen Membran. Zu diesem Zwecke besetzen Blättchen und cylindrische Fortsätze, in denen sich das respiratorische Blutgefässnetz verzweigt, in verschiedener Anzahl und Anordnung die Kiemenbogen, die entweder bei einfachem Bau der respirirenden Fläche zahlreicher werden, oder eine Reduction erkennen lassen, wenn der respiratorische Apparat sich in der mannigfach möglichen Weise complicirt. Am einfachsten, trotz bedeutender Anzahl von Kiemenbogen, ist der Kiemenapparat bei Amphioxus. Der vordere Theil des Nahrungscanals zwischen den Stäben des Visceralskeletes wird von vielen Spalten durchbrochen, durch welche das vom Munde aufgenommene Wasser an den respiratorischen Gefässen vorbei in einen an der Bauchhöhle mündenden Raum einströmt. Bei den Fischen wird das zu respirirende Wasser stets durch den Mund aufgenommen und gelangt fast ohne Ausnahme aus dem Schlund durch die Kiemenhöhle und die äusseren Kiemenspalten wieder hinaus. Die Froschlarven haben im Anfang aussen anhängende Kiemenbüschel, freie Kiemen, später athmen sie durch innere Kiemen, deren Kiemenhöhle sich nach aussen öffnet. Die Larven der Salamander haben Kiemenspalten, aber äussere Kiemen. Mit der Beendigung des Larvenzustandes verschwinden meist äussere und innere Kiemen. Bei den Perennibranchiaten, z. B. dem Proteus, bleiben dagegen die äusseren Kiemen zeitlebens in Function. Die *äusseren Kiemen* der Amphibien lassen sich (LEYDIG) als Fortsetzungen der äusseren Haut be-

trachten. Die *äussere Haut* steht überhaupt (cf. Hautathmung) mit der Respiration in Beziehung. Bei den niedersten *Wirbellosen*, bei denen man keine gesonderten Athmungsorgane antrifft, scheint die ganze Körperoberfläche dem Gasaustausch zu dienen. Bei den Lungenschnecken sackt sich die äussere Haut zu mehr oder weniger geräumigen Lungenhöhlen ein, und die *Kiemen* der Echinodermen, Annulaten, Mollusken und Krebse tragen durchweg, so mannigfach ihre äussere Gestalt sich abändern mag, den Charakter von Fortsetzungen der äusseren Haut (Leydig). Nur bei wenigen Wirbellosen (Balanoglossus, Tunicaten) steht der Athemapparat wie bei den Wirbelthieren mit dem Darmcanal in Beziehung (Gegenbaur). Bei einer weitern grossen Gruppe von wirbellosen Thieren wird der Athmungsprocess dadurch unterhalten, dass Luft oder Wasser das Innere des Körpers selbst durchströmt, in luftführenden Gefässen, *Tracheen*, oder in wasserführenden Gefässen (*Wassergefässsystem* cf. Herz und Blutgefässe). Die Athmung durch Tracheen finden wir bei Arachniden, Insekten und Myriapoden. Die Tracheen sind cylindrische oder platte Röhren, welche meist nach einfacher Verästelung in die Organe eintreten oder sie umspinnen. Auch die sogenannten Lungen der Spinnen sind nur plattgedrückte, fächerförmige Tracheen (Leuckart, Leydig). Nach aussen besitzen die Tracheen eine bindegewebige Hülle, nach innen eine Chitinauskleidung, welche meist in Form einer Spiralfaser in das Röhrenlumen vorspringt und letzteres offen erhält. Die Tracheen öffnen sich paarig zu beiden Seiten des Körpers; ihre querovalen Oeffnungen, *Stigmata*, sind durch Klappenvorrichtungen zu öffnen und zu schliessen. Bei vielen im Wasser lebenden Insektenlarven ist das Tracheensystem dagegen nach aussen geschlossen, so dass dieses das im Wasser enthaltene Gas wie Kiemen aufnehmen muss. Bei den durch Tracheen athmenden Thieren gelangt die Luft direct zu den feinsten Organelementen und zur Blutflüssigkeit. Während bei den durch Kiemen oder Lungen athmenden Thieren das Blut die Athmungsorgane aufsucht, so sucht bei den durch Tracheen athmenden Thieren die Luft das Blut auf (Cuvier).

Chemie des Lungengewebes und der Pleuraflüssigkeit.

Der Reichthum an ernährenden und besonders an Lymphgefässen spricht dafür, dass in dem Lungengewebe lebhafte chemisch-physiologische Vorgänge statthaben.

Cloëtta fand in der Lunge des Ochsen *Inosit*, *Harnsäure*, *Taurin* und *Leucin*. Neukomm fand auch *Harnstoff* und *Oxalsäure* im Lungengewebe eines an *Brightischer* Krankheit gestorbenen Menschen. Nach der älteren Angabe von Verdeil findet sich in der Lungensubstanz eine eigenthümliche stickstoffhaltige Säure, welche, in das Blut aufgenommen, ebenso die gebundene Kohlensäure austreiben konnte, wie eine andere zugesetzte Säure. Nach Cloëtta ist diese »Lungensäure« Taurin. Nach dem Tode reagirt die Lungensubstanz deutlich sauer. Es rührt das offenbar daher, dass die sich auch im Leben bildende Säure wie bei anderen Geweben nach dem Tode nicht mehr durch die Wirkung der Blutcirculation weggewaschen wird und sich nun anhäufen kann. Daraus folgt im Leben eine fortwährende Säureaufnahme des Blutes aus dem Lungengewebe. Sie macht es verständlich, wesshalb das Blut, nachdem es die Lungen durchsetzt hat, weniger reich an nur durch Säurezusatz austreibbarer Kohlensäure ist: *Die Lunge ist, wie die Muskulatur und die Mehrzahl aller übrigen Gewebe des Körpers, welche Säure entwickeln, ein aktives Kohlensäure-Ausscheidungsorgan* (Ludwig) (cf. unten).

Die *Asche der Lunge* wurde von C. W. Schmidt nach den klinischen Gesichtspunkten Kussmaul's untersucht. Es finden sich vorwiegend phosphorsaure Verbindungen, die Natronsalze überwiegen die Kalisalze. Das Natron kommt auch als Kochsalz vor. Beachtenswerth ist der hohe Eisengehalt (auch als phosphorsaure Verbindung), der wohl von dem Lungenpigmente stammt. Ein in den Lungen Erwachsener gefundener Kieselsäure- (Sand-) gehalt stammt von eingeathmetem Staube, ebenso Thonerde (Glimmer), Eisenoxydoxydul, Kohle (S. 502).

Die *Pleuraflussigkeit* enthalt normal sehr wenig feste Stoffe, darunter 2,8—3% Eiweissstoffe. Spontan bildet sie meist nur eine geringe Fibringerinnung, welche meist stärker wird nach Zusatz von wenig Blut (cf. Fibrin bei Blut). Nach E. Eichwald jun. konnte in der Pleurahohle »*Peptonbildung*« stattfinden. Spritzte er Blut in dieselbe ein, so wurde dieses in 2—3 Tagen resorbirt, in dem noch nicht vollkommen resorbirten Reste konnte er Pepton nachweisen. Vielleicht spielt diese Umwandlung auch bei der *Resorption der pathologischen Exsudate* eine Rolle. Eichwald glaubt aber, dass bei normaler Thatigkeit der Lymphgefasse die Resorption unveränderter Eiweissstoffe durch dieselben nicht zu bezweifeln sei.

Die Athembewegungen.

Durch den Lungenbau ist dem Blute in reichem Maasse Gelegenheit gegeben, mit der Luft in Wechselbeziehung zu treten. Es ist hier vor Allem wirksam die ungemein grosse respirirende Fläche, auf welche das Blut ausgegossen wird, es folgt daraus eine sehr bedeutende Vertheilung, welche jedem kleinsten Bluttheilchen Gelegenheit gibt, mit Luft in Berührung zu kommen. Die zarten, feuchten Wände der Alveolen setzen dem Gasverkehr einen nur geringen Widerstand entgegen. Doch reicht die Intensität eines nur auf Diffusion beruhenden Gasverkehres des Blutes mit der Luft nicht hin, um in genügend kurzer Zeit die für das Leben des *Menschen* nöthige Erneuerung des Blutes zu bewirken.

Es tritt dazu noch ein weiterer Faktor in Wirksamkeit, nämlich die Athembewegungen des Thorax und mit diesem der Lungen. Die Bedeutung der Athembewegungen ist darin zu suchen, dass sie den an sich langsamen Gasaustausch durch Diffusion von Luftschicht zu Luftschicht in der Lunge dadurch unterstützen, dass sie an Stelle eines Theiles der Lungenluft, die sich schon mit den gasförmigen Ausscheidungsprodukten des Blutes, namentlich Kohlensäure, beladen hat, und in der darum die Intensität der Diffusionsvorgänge eine geringere ist, neue, normal beinahe kohlensäurefreie Luft zuführt, mit welcher der Gasverkehr ein entsprechend intensiverer sein kann. Der mechanische Luftwechsel in den Lungen durch die Respirationsbewegungen hat die Aufgabe, die Intensität der Gasdiffusion zwischen der Luft und den Gasen des Blutes auf einer bestimmten Höhe zu erhalten. Sowie sich der Kohlensäuredruck in der Lungenluft gesteigert hat, so dass dadurch die Diffusion bis zu einem gewissen Grade aus dem Blute verlangsamt wird, wird Athembewegung eingeleitet, dadurch ein Theil der kohlensäurereichen Luft ausgestossen und frische kohlensäurearme Luft dafür eingenommen, in der die Diffusion mit neuer Energie vor sich gehen kann.

Der Thorax hat bei seinen Bewegungen eine gewisse Aehnlichkeit mit einem Blasebalg. Er wird durch die Einathmung ausgedehnt, sein Innenraum dadurch erweitert. Die Folge ist, dass Luft in ihn durch die Luftröhre einstürzt. Sowie er sich dagegen um ebensoviel verkleinert bei der Ausathmung, wird eine der eingeathmeten Luft gleiche Luftmenge durch die Luftröhre wieder ausgepresst.

Die Vergrösserung des Brust- und Lungenraumes durch die *Inspiration* ist ein auf der Wirkung quergestreifter Muskeln beruhender *aktiver* Vorgang. Die Erweiterung des Brustraumes geschieht theils durch eine Veränderung der

Rippenstellung, theils durch Herabdrücken des Zwerchfelles. Es erfolgt dadurch eine Ausdehnung des Brustraumes nach allen seinen Durchmessern.

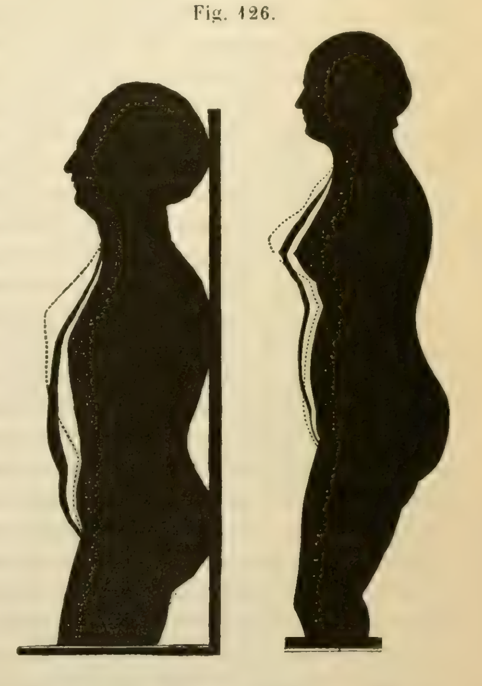
Das Zwerchfell wölbt sich im erschlafften Zustande kuppelförmig in den Brustraum herein und liegt mit seinen Seitenrändern an der inneren Brustwand an. Durch die Zusammenziehung verflacht sich seine Wölbung, seine Ränder heben sich von der Brustwand ab; der besonders im Längsdurchmesser vergrösserte Brustraum wird von den allen seinen Veränderungen folgenden, weil luftdicht in ihn eingefügten, Lungen sogleich ausgefüllt. Durch das Herabdrücken des Zwergfelles wird der Inhalt der Bauchhöhle unter einen stärkeren Druck versetzt, welcher theils die elastische Bauchwand vorwölbt, theils den comprimirbaren Theil des Bauchinhaltes: die Darmgase zusammendrückt. Die Rippen liegen um den Brustraum nicht als vollkommen starre, unbewegliche Knochenringe; ihre Gelenke und die elastische Biegsamkeit ihrer Knorpel, mit denen sie sich an das Brustbein ansetzen, gestatten ihnen eine doppelte Bewegungsweise. Sie können erstens direct mit dem Brustbein etwas nach aufwärts gezogen werden, andererseits erlauben sie eine Drehung, durch welche ihre in der Ruhe nach abwärts gerichtete Convexität nach aussen und aufwärts gewendet wird, wodurch die Breitenausdehnung des Brustraumes zunimmt. Da die Ringe, welche zwei Rippen mit dem dazu gehörigen Brustbeintheile bilden, stark nach abwärts geneigt sind und die unteren die oberen an Umfang übertreffen, so muss durch ein Emporheben der Vorderfläche des Thorax, wie es durch die Hebung der Rippen geschieht, der Brustraum auch in dem Durchmesser von vorne nach hinten erweitert werden. Dazu kommt noch (A. Ransome), dass bei angestrengtem Athmen die Rippen des Menschen sich biegen können. Bei voller Einathmung erscheinen dabei die Rippen länger, bei forcirter Ausathmung kürzer, ein Unterschied der etwa 1,5 cm betragen kann. Bei Kindern und jungen Frauenzimmern ist die Biegsamkeit der Rippen stärker, als bei erwachsenen Männern.

Die Stellung der Rippen, in der sie weder zusammengedrückt noch aus einander gezerrt sind, ist ihre Ruhelage, in welcher sich ihre elastischen Kräfte im Gleichgewichtszustande befinden. In diese mittlere Ruhelage suchen sie stets zurückzufedern, wenn sie in der einen oder der anderen Richtung daraus entfernt werden. Aus der Untersuchung frischer Präparate fand W. Henke, dass diese Ruhelage einer beginnenden Inspirationsstellung entspricht. Ein Theil des elastischen Zuges, welchen die Lungen auf die Innenfläche des Thorax ausüben, wodurch sie ihn zu verkleinern streben, wird also durch die Elasticität der Rippenknorpel paralysirt. Während, wie wir hören werden, die elastischen Kräfte der Lunge, unterstützt von der Schwere des vorderen Theils der Brust, eine exspiratorische Verkleinerung des Brustraumes anstreben, sehen wir also die elastischen Kräfte der Rippen eine inspiratorische Erweiterung bewirken. Ein Theil der elastischen Kräfte, die bei der Athmung in Frage kommen, hält sich sonach das Gleichgewicht. Der Uebergang in Inspiration und gesteigerte Exspiration erfordert daher ohngefähr gleichen Kraftaufwand.

Die normale Inspiration wird nur durch die Thätigkeit des Zwerchfelles, des Musculus scalenus anticus und medius auf jeder Seite und der Intercostales externi hervorgerufen, die Intercostales interni senken die Rippen (Onimus).

Bei tieferer Inspiration, am deutlichsten bei Athemnoth, sehen wir noch weitere Hülfsmuskeln mit in Aktion eintreten, zuerst die Rippenheber, Levatores costarum und die Serrati postici. Bei angstvoller Athembehinderung kommen noch der Sternocleidomastoideus, Pectoralis, Serratus anticus jeder Seite mit ihrer Wirkung hinzu. Gleichzeitig sehen wir die Zugänge zu der Luftröhre, die Nasen- und Mundhöhleneingänge, die Stimmritze sich erweitern und an der rhythmischen Athemthätigkeit sich betheiligen. In allen Muskeln des Körpers treten zuletzt krampfhafte Contractionen zu Tage. Die oberen Extremitäten werden krampfhaft angestemmt und dadurch festgestellt, wodurch für die beiden letztgenannten Inspirationsmuskeln feste Ansatzpunkte geschaffen werden, zu denen sie die Rippen emporziehen können. Der Verlauf der Athemmuskeln geht im Allgemeinen von hinten oben nach vorne unten. Je nachdem die Thätigkeit des Zwerchfelles oder der Brustmuskeln bei dem Athmen überwiegt, unterscheidet man das Kostal-Athmen von dem Abdominal-Athmen. Bei dem ersteren Athemtypus wird mehr die Brust, bei dem letzteren mehr der Bauch hervorgewölbt und ausgedehnt. Der Abdominaltypus des Athmens herrscht bei ruhigem Athmen bei dem männlichen, der Kostaltypus bei dem weiblichen Geschlechte vor. Bei sehr verstärkten Athembewegungen tritt dieser Umstand dagegen zurück, diese geschehen stets, wie sich schon aus der Betrachtung der Athemhülfsmuskeln ergibt, hauptsächlich durch die Brust. Die Hervorwölbung des Bauches ist dabei sogar geringer als bei dem normalen Athmen, da die Bauchmuskeln an dem allgemeinen Contractionsbestreben theilnehmen. Die belehrenden Abbildungen von Hutchinson machen diese Verhältnisse für die Profilansicht direct anschaulich (Fig. 126). Die Begrenzung der schwarzen Figuren stellt die Ausdehnung der Brust und des Bauches bei tiefster Exspiration dar. Die verschieden breite schwarze Linie entspricht den ruhigen Ein- und Ausathmen. Der vordere Rand derselben der Ein-, der hintere der Ausathmung. Die punktirte Linie veranschaulicht die Ausdehnung bei tiefster Inspiration.

Fig. 126.



Die Ausathmung, Exspiration, geschieht im normalen Athmen, im Gegensatze zu dem Einathmen, nur durch passive Wirkungen. Das aktiv herabgesunkene Zwerchfell dehnt sich wieder aus und wird durch die vorhin von ihm und den Bauchwandungen gedrückten Baucheingeweide wieder in die Höhe gewölbt. Die Rippen sinken wieder herab, theils durch die Schwere, theils weil nun die vorhin von dem Muskelzug überwundene Elasticität ihrer

Knorpel diese und damit die Rippen wieder in ihre Ruhelage zurückzieht. Vor Allem betheiligt sich aber an der exspiratorischen Verengerung des Brustraumes die Lunge selbst mit ihren elastischen Kräften. Nach F. Riegel geht die Inspiration ohne Pause in die Exspiration über und auch zwischen zwei Gesammtathmungen (In- + Exspiration) ist meist kein bemerkbares zeitliches Intervall.

Die Lunge ist so in den Brustraum eingefügt, dass sie allen seinen Bewegungen Folge leisten muss. Es wäre eine solche Verbindung dadurch zu erreichen gewesen, dass die elastische Lungenoberfläche und Brustwand innig mit einander verwachsen wären. In Wirklichkeit ist die Verbindung hergestellt durch die Wirkungen des einseitig gesteigerten Luftdruckes. Wir sind nicht im Stande, die Glocke einer ausgepumpten Luftpumpe von ihrer Unterlage abzuheben, da sie durch den Druck der äusseren Luft fest auf diese angepresst wird. Machen wir den Luftdruck auf beiden Seiten der Glocke, innen und aussen, gleich, so ist das Abheben vollkommen leicht; so lange aber die Luftverdünnung besteht, scheinen Glocke und ihr Untersatz aus einem Stück zu sein. Machen wir die Glocke nicht von Glas, sondern von einem sehr elastischen Material, so sehen wir sie sich durch das Auspumpen immer mehr und mehr an ihre Unterlage anpressen, bis endlich bei entsprechender Gestalt der letzteren der Zwischenraum zwischen beiden ganz verschwunden ist. Die elastische Haut schmiegt sich fest an die starre Unterlage an und lässt sich nicht von ihr entfernen, bis wir wieder Luft zuströmen lassen. Haben wir einen elastischen, leicht ausdehnbaren Beutel in eine Flasche gehängt und verdünnen zwischen ihm und der Wand die Luft durch Auspumpen oder Aussaugen, so sehen wir den Beutel sich fest an die Wandung anschmiegen und, wenn letztere beweglich ist, allen Bewegungen derselben folgen. Es hat dann ganz das Ansehen, als wäre der elastische Beutel an die Wände angekittet. Am besten verwendet man zu einem solchen Versuche als Beutel die Lunge eines kleineren Thieres, da eine solche ungemein ausdehnbar ist. Sie legt sich in der beschriebenen Weise an die Wandungen an, wenn die Luft zwischen ihnen verdünnt wurde, wobei sie sehr bedeutend ausgedehnt wird, und sinkt wieder auf ein kleines Volumen zusammen, wenn Luft zwischen ihre Oberfläche und die Wandung des Gefässes einströmt. Analog ist die Einfügung der Lunge in den Brustraum. Die Lunge liegt mit ihren Wänden direct der inneren Oberfläche des Thorax luftdicht an und ist über ihr natürliches Volum ausgedehnt. Sowie der Luft von aussen her zwischen die Brustwand und die Lungenoberfläche der Zutritt gestattet ist, indem etwa durch einen Stich die sogenannte Pleurahöhle geöffnet wurde, so stürzt die Luft mit Gewalt, pfeifend herein und die Lungen sinken auf ihr natürliches Volumen zusammen. Eine wahre Pleurahöhle kann natürlich nicht existiren, da die Lungenoberfläche — das viscerale Blatt — der Brustinnenwand — dem peripherischen Blatte — genau anliegt. Nur eine sehr geringe Menge seröser Flüssigkeit ist zwischen ihnen vorhanden und erleichtert die Verschiebung der beiden Blätter an einander.

Die Verhältnisse der Lungeneinfügung sind also so, als wäre zwischen Lungenoberfläche und Thoraxwand die Luft vollkommen ausgepumpt und die Lunge dadurch nicht unbedeutend ausgedehnt. Bei dem ungeborenen Kinde liegt die noch nicht mit Luft gefüllte atelectatische Lunge dicht an der Brustwand an, der Brustraum ist namentlich durch das heraufgedrängte Zwerchfell

verkleinert, so dass ihn die noch nicht ausgedehnten Lungen mit den übrigen Brusteingeweiden vollkommen ausfüllen. Zwischen Lungenoberfläche und Brustwand ist keine Luft und kann unter normalen Bedingungen auch keine herein. Sobald das Kind zu athmen beginnt, so erweitert die erste Inspirationsbewegung den Brustraum. Da keine Luft zwischen die Lunge und die Brustwand treten, diese sich auch nicht von der letzteren entfernen kann, so wird die Lunge mit ausgedehnt, ihre Luftzellen erweitert. Nun strömt Luft in die Bronchien ein, füllt sie bis zu ihren letzten Endausbuchtungen an und lässt sich nun durch äusseren Druck nicht mehr vollkommen aus ihnen entfernen. So bleibt die Lunge nach der ersten Athmung schon etwas über ihr natürliches Volumen ausgedehnt. Bekanntlich wird der bleibende Luftgehalt der Lunge nach der ersten Athmung zur sogenannten Lungenprobe in der gerichtlichen Medicin benutzt. Eine Lunge, die einem Kinde, das geathmet hat, angehört, schwimmt auf Wasser geworfen, während eine Lunge eines vor der ersten Athmung verstorbenen Kindes, wenn sich nicht, z. B. durch Fäulniss, reichlich Gase in ihr gebildet haben sollten, darin untersinkt. Mit der zunehmenden Körperentwickelung wächst der Brustraum in stärkerem Verhältniss als die Lunge, die Ausdehnung der Lunge nimmt dadurch mehr und mehr zu.

In der Brusthöhle herrscht durch diese Einfügungsart der Lunge ein negativer Druck oder vielmehr Zug, den wir bei der Blutbewegung nicht unwesentlich betheiligt fanden. Die elastischen Kräfte der über ihr natürliches Volumen ausgedehnten Lunge sind bestrebt, diese zu verkleinern und auf ihr natürliches Volumen zurückzuführen. Alles was in ihrer Nähe frei beweglich ist, wird dadurch angezogen, elastische Hohlräume, z. B. das Herz, vor Allem seine Vorkammern und Gefässe ausgedehnt. Bei der Erweiterung des Thorax durch die Einathmung wird die Lunge noch weiter ausgedehnt, der negative Druck im Brustraum also noch weiter verstärkt. Bei mageren Individuen sehen wir daher bei den Exspirationen die Interkostalräume einsinken, bei angeborener Fissura sterni oder bei erworbenen Lücken im knöchernen Brustkorb über dem Herzen, ebenso die die Lungen und das Herz deckende Haut. Sowie die Muskelkraft der Einathmung nachlässt, welche die Ausdehnung des Brustkorbes bewirkte, kommt die Elasticität des Lungengewebes zur Wirkung und betheiligt sich an der Rückführung des Thorax in seine Ruhestellung, da sich letzterer nun seinerseits auch nicht von der Lungenoberfläche loslösen kann. Die elastischen von der Lunge ausgedehnten Organe üben selbstverständlich auch ihrerseits wieder einen Zug auf die Lunge aus, ebenso das Herz bei seiner aktiven Verkleinerung (Systole).

Bei gehemmter Athmung tritt auch bei der Exspiration Muskelwirkung auf. Exspirationsmuskeln sind, ausser den Intercostales interni (ONIMUS), vor Allem die Bauchmuskeln, welche die Rippen nach abwärts ziehen und durch den gleichzeitig auf die Eingeweide ausgeübten Druck das Zwerchfell nach aufwärts drängen. Der Quadratus lumborum und der Serratus posticus inferior jederseits können sich an dem Herabziehen der Rippen betheiligen, das nach demselben Principe den Brustraum verengert, wie ihn das Hinaufziehen vergrösserte. Dabei können die Lungen bei geschlossenen Athemöffnungen so zusammengepresst werden (cf. S. 451), dass dadurch der Druck im Brustraum ein positiver wird, was man an der Hervorwölbung der Inter-

kostalräume oder dem sackartigen Hervorpressen der Hautdecke über Herz und Lunge bei angeborener Fissura sterni und analogen erworbenen Brustkorbdefecten direct sehen kann.

Die Erweiterung und Wiederverengerung des Thorax und damit das Volum der aus- und eingeathmeten Luftmenge ist bei ruhigem Athmen nicht bedeutend. Es kann durch das stärkste Athmen weit mehr Luft ein- und ausgetrieben werden. Die Menge Luft, welche nach der stärksten Inspiration ausgeathmet werden kann, nennt Hutchinson Vital-Kapacität der Lunge, welche er für den Erwachsenen etwa zu 3772 cc bestimmte. Auch nach der tiefsten Exspiration ist noch ziemlich viel Luft in der Lunge enthalten. Diese »rückständige Luft« beträgt zwischen 1200—1600 cc. Nach einer gewöhnlichen, seichteren Ausathmung bleiben noch etwa 3000 cc zurück (2500—3400). Der Ueberschuss über die erstere Menge wird als Reserveluft benannt. Die Menge der durch einen gewöhnlichen, ruhigen Athemzug ein- und ausgeathmeten Luft, die Respirationsluft, beträgt etwa 500 cc. Was bei tiefster Inspiration mehr aufgenommen wird, heisst Complementärluft. Es wechseln diese Grössen bedeutend bei verschiedenen Individuen und Körperzuständen, namentlich mit Ruhe und Bewegung. Aus den angeführten Zahlen ergibt sich, dass bei einer gewöhnlichen Athmung kaum mehr als 1/6 der in der Lunge enthaltenen Luft erneuert wird (Fig. 127) und zwar vor allem nur in der Trachea und den grösseren Bronchien.

Fig. 127.



Nach Hutchinson. Die verschiedenen beim Athmen unterschiedenen Luftvolumina. *a b* rückständige Luft, die nach möglichst tiefem Ausathmen noch in der Lunge verbleibt. *b c* Reserveluft, *c d* Respirationsluft. *d e* Komplementärluft. *b e* Vitale Kapacität oder Athmungsgrösse.

Die Alveolen werden sich zunächst nur aus der in den feinen Bronchien enthaltenen Luft füllen können, so dass die Erneuerung ihres Inhaltes nicht so gründlich sein kann, als in den anderen Schichten der Lunge. Ihre Luft zeigt stets den grössten Kohlensäuregehalt, und die direct an den Lungenbläschenwandungen anliegende Luftschicht kann sich in ihrer Kohlensäurespannung nicht von dem Blute selbst unterscheiden.

Messapparate der Athembewegung. — Die Vitalkapacität wird durch Ausathmen in eine in Wasser getauchte und mit Wasser gefüllte Glocke: Spirometer, welche das Messen des ausgeathmeten Luftvolums erlaubt, bestimmt. Damit das Gewicht der Glocke das Ausathmen nicht behindert, ist dieses durch daran gehängte Gewichte äquilibrirt. Zur Messung kann auch eine genau graduirte Gasuhr, in welche durch einen angesetzten Schlauch die Luft eingeathmet, d. h. geblasen wird, verwendet werden (v. Pettenkofer). In der ärztlichen Praxis haben diese Instrumente wenig Anwendung gefunden, da es einige Uebung im Athmen bedarf, wenn richtige Zahlenwerthe erhalten werden sollen. Die Ausdehnung des Brustraumes bei jedem Athemzug wird durch Thorakometer gemessen, unter denen ein gewöhnliches Centimeterbandmaass, das man um die Brust legt, und mit dem man während der Athmung den Excursionen derselben messend folgt, das einfachste und zweckmässigste scheint. Marey's Pneumograph ist ein Gürtel, zum Theil aus einem elastischen Hohlcylinder bestehend, der sich bei der Inspiration erweitert und mit einem Manometer verbunden seinen Luftdruck auf die Kymographiontrommel registriren kann. Durch Einstechen von Nadeln kann man an Thieren

die Athembewegung messen und sich auch selbst registriren lassen, z. B. durch Anschlagen an Glocken. Bei ROSENTHAL's Phrenograph wird ein Fühlhebel vom geöffneten Abdomen her an das Zwerchfell angelegt, dessen Bewegungen man direct beobachten oder sich in der gewöhnlichen Weise aufschreiben lassen kann.

Athemgeräusch. — Das Einströmen der Luft bringt in den Athemorganen Geräusche: Athemgeräusche hervor, deren Veränderungen durch krankhafte Zustände für den Arzt von Wichtigkeit werden. Man hört sie, wenn man das Ohr auf die Brust auflegt. In den starren, weiteren Hohlräumen: der Luftröhre, den grossen Luftröhrenästen, ist das Geräusch einfach hauchend; in den feineren Bronchien mehr »schlürfend«, zischend. Man nennt dieses letztere, *w* oder *f* ähnliche Geräusch vesikuläres Athmen, das erstere, *h* ähnliche bronchiales Athmen. Das vesikuläre Athmen zeigt sich normal nur deutlich bei Kindern, bei denen auch die Ausathmung ein deutliches Geräusch verursacht. Bei gesunden Erwachsenen sind die Geräusche undeutlich, bei der Exspiration meist gar nicht vernehmbar. Durch verstärkte In- oder Exspirationen unter dem Einfluss von Gemüthsbewegungen oder Leidenschaften hören wir auch bei Erwachsenen laut hörbare Geräusche, die in dem Rachen, der Stimmritze und der Luftröhre entstehen: Seufzen, Gähnen, Schluchzen, Lachen. Bei jeder Inspiration wird ein Druck auf die Baucheingeweide ausgeübt; wird derselbe willkürlich durch Verschluss der Stimmritze nach starker Einathmung verstärkt, und werden gleichzeitig die Bauchmuskeln kräftig contrahirt, so können dadurch Mastdarm, Blase, Uterus in ihrem Entleerungsbestreben unterstützt und entleert werden: Bauchpresse.

Den negativen Druck im ruhenden Thorax durch die Elasticität der Lunge hat DONDERS zu etwa 6 mm Quecksilber bestimmt, indem er an der Leiche die Luftröhre luftdicht durch ein Manometer verschloss und nun die Brusthöhle durch Einstechen öffnete. Contractionen der Bronchienmuskulatur werden durch Verengerung der Bronchien, deren Raum dann auch zum Theil von dem Alveolengewebe der Lunge eingenommen werden muss, den negativen Druck in der Lunge steigern können. Der negative Druck in den Lungen existirt bei dem Fötus und bei dem Neugeborenen vor der ersten Athmung noch nicht, da sonst Fruchtwasser in die Lungen eintreten müsste. Durch die erste Athmung tritt eine dauernde Erweiterung des Brustraums ein und damit jener negative Druck, welcher sich sofort auf die von DONDERS gefundene Höhe von 6—7 mm Quecksilber erhebt (J. BERNSTEIN).

Die Spannung der Luft in der Lunge erfährt bei ruhigem Athmen nur geringe Veränderungen. In der Luftröhre beträgt sie bei der Exspiration höchstens 2—3, bei der Inspiration nur 1 mm Quecksilber, in den Lungen selbst sind die Druckveränderungen meist noch geringer. DONDERS führte in ein Nasenloch luftdicht ein Manometer ein, dessen Quecksilberstand er auf einer Kymographiontrommel registrirte. Bei stärkster Athembewegung sah er den negativen Inspirationsdruck auf 36—74 mm, den positiven Exspirationsdruck auf 82—100 mm Quecksilber steigen. Bei schwachen und stärksten Athembewegungen fand ich das gleiche Verhältniss, dagegen finde ich bei mittelstarkem Athmen die Druckverhältnisse bei Aus- und Einathmung gleich.

Beim gewöhnlichen Inspiriren wird der Widerstand, welchen die Lungen ihrer Ausdehnung entgegensetzen, das Gewicht des Thorax u. s. w. durch Muskelaktion überwunden. Die Kraft, welche bei einer Inspiration gewöhnlich zur Verwendung kommt, berechnet DONDERS, abgesehen von der Torsion der Rippen, zu 42,8 Kilogramm. Beim gewöhnlichen Exspiriren wirkt dieses Gewicht grösstentheils als Elasticität.

S. STERN deducirt, dass bei der Inspiration als Resultat der Zwerchfell- und Thoraxwandaktion eine gewisse Ungleichheit in der Ausdehnung der Lungen auftrete, die um so bedeutender ist, je mehr die Thätigkeit der Thoraxwand überwiegt. Im Allgemeinen werden die Oberlappen stärker gedehnt, als die unteren, und speciell die Umgebung der vorderen Ränder am stärksten. Der Grund liegt darin, dass der Widerstand der gedehnten Lungenmassen die Form und Bewegungsrichtung der starren oder nahezu starren Thorax-

wand nicht zu ändern vermag, und die durch die Thoraxwand allein bewirkte ungleiche Dehnung durch die Mitaktion des Zwerchfells meist nur theilweise ausgeglichen werden kann.

Gaserneuerung in der Lunge. — Gréhant hat den Verkehr der eingeathmeten Luft mit der schon in der Lunge befindlichen dadurch zu bestimmen versucht, dass er auf einmal 500 cc Wasserstoff einathmete, und nun bei nachfolgender Luftathmung den Zeitpunkt bestimmte, wann aller eingeathmete Wasserstoff die Lunge wieder verlassen hat. Er fand die Athemluft erst nach dem 6.—10. Athemzuge wieder wasserstofffrei. Annähernd so wird es sich auch mit der eingeathmeten atmosphärischen Luft verhalten. Nach der ersten Ausathmung (500 cc) sollen von den 500 cc Wasserstoff noch 330 cc in den Lungen sein, welche sich gleichmässig vertheilt haben. Dieses Resultat überträgt Gréhant direct auf die eingeathmete atmosphärische Luft. Jeder Cubikcentimeter Alveolenluft würde dann bei einem mittleren Lungenvolumen von 2930 cc bei einer Einathmung von 500 cc atmosphärischer Luft $\frac{330}{2930}$ = 0,113 cc frischer Luft mit 0,023 cc O erhalten. Diese Zahl 0,113 cc wird als Ventilationscoefficient bezeichnet, dessen Grösse, wie man sogleich sieht, von dem Lungenvolum und dem inspirirten Luftvolum abhängig ist. Das Lungenvolumen bestimmte Gréhant ebenfalls durch Wasserstoffeinathmung, indem er aus einem geschlossenen Raume, der primär 1 Liter Wasserstoff enthielt, so lange athmete (4—6 Athemzüge genügten), bis sich der Wasserstoff gleichmässig in der Lungenluft und der ausgeathmeten Luft vertheilt hatte. Er bestimmte nun den restirenden Wasserstoffgehalt in dem anfänglich ganz mit Wasserstoff angefüllten Gefäss und konnte nun unter der Annahme, dass der fehlende Wasserstoff sich in der Lungenluft in demselben Procentverhältniss vertheilt hatte wie aussen, das Lungenvolumen berechnen. Er fand so bei Erwachsenen eine Schwankung des Lungenvolumens von 2190 cc bis 3220 cc (cf. oben S. 511).

Die Frequenz der Athemzüge und der Nerveneinfluss auf die Athmung.

Die Zahl der Athemzüge in der Minute ist nach verschiedenen Umständen schwankend. Schon bei geringen Muskelanstrengungen z. B. sehen wir den Athemrhythmus sich beschleunigen, und zwar noch früher als die Frequenz der Herzschläge, die wir unter demselben Einfluss zunehmen sahen. Schon dadurch, dass wir unsere Aufmerksamkeit auf die Athembewegungen richten, verändern wir ihren gewöhnlichen Rhythmus. Wenn wir bei irgend Jemand die Athemzüge zählen wollen, so müssen wir das, um sichere Resultate zu erhalten, ohne sein Vorwissen thun. Hutchinson zählte bei beinahe 2000 Personen ohne ihr Vorwissen die Athemzüge, und es stellte sich heraus, dass die grösste Mehrzahl zwischen 16 und 24 Mal in der Minute athmeten, dabei kamen 20 Athemzüge in der Minute weitaus am häufigsten vor (von 1731 athmeten 521 20 Mal in der Minute). Die unterste Zahl für die Athemfrequenz Gesunder war 9, die oberste 40, diese höchsten und niedrigsten Zahlen waren beide gleich selten. Während eines Athemzuges macht im Durchschnitt das Herz vier Contractionen.

Wie die Zahl der Herzcontractionen, so sinkt auch die normale Frequenz der Athembewegungen von der Geburt bis zum kräftigsten Mannesalter, um von da wieder etwas zuzunehmen. Die Zählungen von Quetelet ergaben als mittlere Frequenz der Athmungen in der Minute: Neugebornes Kind 44; 5 Jahre alt 26; 15—20 Jahre alt 20; 20—25 Jahre alt 18,7; 25—30 Jahre alt 16; 30—50 Jahre alt 18,1.

In Krankheiten kann die Zahl der Athemzüge bedeutend sinken oder noch

viel häufiger steigen. Alles, was die Oxydationen im Organismus steigert: Fieber, Entzündung etc., steigert auch die Athemfrequenz; eine im Allgemeinen gesteigerte Körpertemperatur bringt eine gesteigerte Athemfrequenz hervor. Puls- und Athemfrequenz steigen dabei ziemlich gleichmässig. Wir finden alle Momente, welche die Herzaktion verändern, auch bei der Athemfrequenz wirksam. Verdauung, Gemüthsbewegung, Schwächezustände vermehren beide. Das weibliche Geschlecht zeigt meist eine grössere Athemfrequenz als das männliche.

Wir können die für gewöhnlich unwillkürlich vor sich gehenden Athembewegungen auch willkürlich anregen, in ihrem Rhythmus und ihrer Tiefe verändern, für kurze Zeit auch ganz unterbrechen. Doch zwingt nach einer solchen Unterbrechung uns sehr bald die »Athemnoth« zu unwillkürlichen, verstärkten und beschleunigten Athembewegungen. Das von dem Willen aus, aber auch reflectorisch und, wie es wenigstens scheint, auch automatisch erregbare nervöse Centrum dieser complicirten Bewegungen, welche zu einer Erweiterung oder Verengerung des Brustraumes und der Lungen führen, ist in dem verlängerten Marke gelegen und zwar an einer ganz umschriebenen Stelle desselben: an der Ursprungsstelle des Vagus und Accessorius. Die Jäger kennen diese Stelle, FLOURENS' Noeud vital, an welcher dem angeschossenen Thiere der Hirschfänger eingestossen wird, wodurch das Athmen und mit diesem das Leben sofort vernichtet wird. Vom Athemcentrum werden die Athemnerven (Nervi phrenici, die äusseren Thoraxnerven) in Aktion versetzt, um dann ihrerseits die Athemmuskulatur zur Thätigkeit anzuregen. Ununterbrochen pflanzt sich von dieser Stelle aus ein regulirender Antrieb auf die Athembewegungen fort. Das Experiment beweist, dass diese Regulirung in einer bestimmten Abhängigkeit vom Vagus steht. Es gelangen wahrscheinlich von dem Verbreitungsbezirke des Vagus in den Eingeweiden (z. B. den Lungen) Anregungen zu dem Noeud vital, welche eine raschere Erregungsfolge der Athemnerven hervorrufen. Es scheint das dadurch bewiesen zu werden, dass nach Durchschneidung des Vagus am Halse die Athemfrequenz sehr bedeutend sinkt. TRAUBE fand, dass nach der Durchschneidung die electrische Reizung des centralen Vagusendes die Athemfrequenz in der Mehrzahl der Fälle wieder beschleunigt und schliesslich durch Verstärkung der Reizung sogar eine krampfhafte Einathmung hervorrufen kann. Die Athembewegungen werden während der Verlangsamung nach der Vagusdurchschneidung entsprechend tiefer, so dass keine Verminderung in der in einer gegebenen grösseren Zeit ein- und ausgeathmeten Gasmengen ebenso wenig wie im Chemismus des Gaswechsels (VOIT und RAUBER) eintritt. Die Leistung der Medulla oblongata bleibt also im Ganzen die gleiche, sie wird nur anders vertheilt (J. ROSENTHAL). Es gelingt (bei Kaninchen), durch theilweise Abtrennung des Athemcentrums in der Medulla oblongata lange Athempausen mit eingeschobenen Athemkrämpfen (CHEYNSTOKES' Phänomen, LUCIANI) zu erhalten. In diesen Pausen gelingt es, durch rhythmische electrische Reizung der Medulla oblongata und bei gleichzeitiger Reizung der beiden durchschnittenen centralen Vagusenden künstliche Respirationsbewegungen des Zwerchfells hervorzurufen. Nach vollkommener Abtrennung des Athemcentrums können durch rhythmisches Tetanisiren (20 Reize in 1 Secunde) regelmässige Athembewegungen des Zwerchfells hervorgerufen werden

H. Kronecker und M. Marckwald). J. Rosenthal fand, dass Hand in Hand mit dem reflectorisch zur Inspiration reizenden Erregungszustand, der im Vagus verläuft, dem Noeud vital auch noch von den sensiblen Nerven des Kehlkopfes, vom Nervus laryngeus superior, eine entgegengesetzt wirkende Erregung zugeleitet werden kann. Wird der genannte Nerv durchschnitten und sein centraler Stumpf electrisch gereizt, so verlangsamt sich die Athemfrequenz, endlich bleibt das Zwerchfell erschlafft stehen, die Athembewegungen sistiren ganz, bei der stärksten Reizung treten sogar die Ausathemmuskeln in Thätigkeit. Der dem verlängerten Marke — centripetal — zugeleitete Erregungszustand des Vagus regt also zur Inspiration an, die in dem Laryngeus superior verlaufenden Nervenfasern können dagegen reflectorisch vom Kehlkopfe aus das Athemcentrum zur Einleitung von Exspirationsbewegungen veranlassen. Da also der Laryngeus die aktiven Bewegungen der Inspiration verhindert und wenigstens primär die Athembewegung verlangsamt und ganz unterbricht, so kann man ihn als einen Hemmungsnerven für das Athemcentrum ansprechen, ähnlich wie wir den Vagusstamm als Hemmungsnerven für die nervösen Herzcentralorgane kennen gelernt haben. Durch stärkere Reizung sehen wir freilich, was bei anderen Hemmungsnerven nicht der Fall ist, eine Reihe neuer Bewegungen (Exspirationsbewegungen) auftreten. Vagus und Laryngeus superior sind regulirende Nerven für die Athmung. Verlangsamend wirkende Fasern sollen dem Noeud vital auch durch andere Nerven, vor Allem durch den Laryngeus inferior, zugeleitet werden (Pflüger, Hering u. A.). Exspirationsbewegungen scheinen unwillkürlich, reflectorisch auch auf Reize der sensiblen Hautnerven eintreten zu können, wenigstens sind mit dem »Schauern« vor Kälte krampfhafte, geräuschvolle Exspirationsbewegungen verbunden, dagegen erregt das Erschrecken durch Anspritzen mit kaltem Wasser Inspirationen. Die erste Athembewegung des Neugebornen wollte man früher allein vom Kältereiz, der von der Haut aus auf das Athemcentrum reflectirt würde, ableiten, sicher wirkt hier die durch die Unterbrechung der Placentarathmung eintretende chemische Veränderung des Blutes mit, welche auf das Athemcentrum erregend wirkt. Langendorff findet, dass schwache sensible Reizung beschleunigend, starke verlangsamend auf die Athembewegungen wirke. Bei Hirndruck sehen wir die Zahl der Athemzüge sehr bedeutend bis auf mehr als die Hälfte herabgesetzt, ebenso die Pulsbewegung. — Der N. vagus ist der trophische Nerv der Lunge (cf. unten die Zusammenstellung der Funktionen der Hirn- und Rückenmarksnerven). Durchschneidung der Nn. phrenici lähmt das Zwerchfell (W. Alyschewsky).

Die Athembewegungen können (bei Kaninchen) durch energisches künstliches Einblasen von Luft in die Lungen ganz sistirt werden: Apnoe (J. Rosenthal). Hoppe-Seyler stellt die Gründe zusammen, welche dafür sprechen, dass dieser Zustand nichts als ein Ermüdungsresultat der durch die Versuche gemisshandelten Respirationsmuskeln sei, Andere denken an mechanische Reizung der Athemnerven; Brown-Séquard meint, dass durch die »Lufteinblasungen« die Lungenzweige des Vagus gezerrt und dadurch gereizt würden. Nach Rosenthal's Ansicht wäre die Ursache der mangelnden Athembewegungen die, dass das Blut mit Sauerstoff durch das künstliche Einblasen desselben in die Lungen fortwährend gesättigt sei; er glaubt, dass in diesem Zustand der Orga-

nismus aus Ueberfluss an Sauerstoff im Blute nicht athmet und zur Erhaltung seiner Verbrennungen nicht zu athmen braucht. Apnoe wäre so das Widerspiel von Athemnoth, Dyspnoe, welche in Folge von Sauerstoffmangel im Blute eintritt und mit den beschriebenen starken, krampfhaften Athembewegungen und allgemeinen Muskelkrämpfen einhergeht. Ausser dem Sauerstoffmangel scheint wohl auch die Kohlensäure anregend auf das Athmungscentrum zu wirken. Die vermehrte Anwesenheit der Kohlensäure im Blute und hochgradiger Sauerstoffmangel lähmt endlich das Centrum der Athembewegungen, so dass es gar keiner Aktionen mehr fähig ist. Ebenso lähmt die Kohlensäure auch die übrigen Ganglienapparate des Gehirnes und Rückenmarks. Lässt man einen energischen Kohlensäurestrom in den Athmungsapparat eintreten, so entsteht, wie beim Einblasen von Sauerstoff, ebenfalls Stillstand der Athmung durch Reizung der in der Nasenschleimhaut endigenden Trigeminusfasern, nicht der Vagusendigungen (FILEHNE).

J. ROSENTHAL hat angenommen, dass der Ausdehnungszustand der Lunge mechanisch die regulatorischen Fasern erregt, und zwar scheint dabei insofern eine Selbststeuerung der Athmung einzutreten (HERING), als die Ausdehnung der Lunge bei der Inspiration die exspiratorisch wirkenden, hemmenden Fasern erregt, während umgekehrt durch das Zusammensinken der Lunge bei der Exspiration die beschleunigend wirkenden, inspiratorischen Fasern erregt werden.

Man hat darüber discutirt, ob das die Anregung vermittelnde Moment in der Medulla oblongata der Sauerstoffmangel oder die Kohlensäureüberladung im Blute und in der Gewebsflüssigkeit der betreffenden Lokalität sei. Kohlensäureanhäufung und Sauerstoffmangel kommen aber normal meist gemeinsam zur Wirkung, ebenso das umgekehrte Verhältniss. ROSENTHAL's Experimente zeigen, dass Sauerstoffmangel ohne Kohlensäureanhäufung bei der Athmung in indifferenten, sauerstofffreien Gasen Athmung anregt und Dyspnoe bewirkt, ebenso wirkt aber auch das Einblasen sauerstoff- und kohlensäurereicher Gasgemische (TRAUBE), so dass die Frage gegenwärtig noch unentschieden ist. Am naheliegendsten scheint es, mit PFLÜGER zu schliessen, dass sowohl Sauerstoffmangel als Kohlensäureanhäufung erregend auf das Athmungscentrum wirken. Wenn das Blut sehr sauerstoffreich ist, wirkt aber, wie ROSENTHAL nach seinen Experimenten über Apnoe schliesst, die Kohlensäure schwächer erregend als sonst. Gewiss betheiligen sich, wie ich aus meinen Beobachtungen über ermüdende Stoffe abnehme, noch andere aus dem Stoffwechsel hervorgehende Substanzen und die daraus resultirende Veränderung der Gewebsflüssigkeit an der Reizung des Athemcentrums. Die Blutveränderung, welche die Athmung anregt, braucht nach vielfältigen Experimenten nur lokal in dem Gefässgebiete der Medulla einzutreten, was man durch Verhinderung des arteriellen Zuflusses oder venösen Abflusses des Blutes vom Gehirn leicht demonstriren kann.

ACKERMANN fand, dass Erhöhung der Körpertemperatur eine Steigerung der Frequenz und Energie der Athembewegungen zur Folge hat. GOLDSTEIN führte diese Wirkung auf die Erhöhung der Temperatur des Blutes in den Gefässen des Gehirns zurück.

Für den Arzt ist die Kenntniss der Erscheinungen, die man unter den Namen **Dyspnoe** zusammenfasst, und die schliesslich in Erstickung, Suffokation, übergehen, von grosser Wichtigkeit. Die Veränderungen, welche das Blut bei irgendwie erzeugter, mangelhafter Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe in der Athmung erfährt, bewirken Dyspnoe, d. h. zunächst eine Verlangsamung, aber besonders eine Vertiefung der Athemzüge unter Betheiligung der accessorischen Athemmuskeln. Dadurch wird bei Athmung in normaler atmosphärischer Luft dem Blute mehr Sauerstoff zugeführt, die Kohlensäure reichlicher abgeschieden, so dass der gestörte Athmungsvorgang dadurch mehr oder weniger zur Norm zurückgeführt wird, im Sinne einer Selbststeuerung. Steigern sich dagegen die betreffenden Blutverände-

rungen noch weiter, so müssen wir zwischen den Wirkungen der Kohlensäureanhäufung und den Wirkungen der Sauerstoffverarmung des Blutes unterscheiden. Erstere bewirkt zunächst nur gesteigerte Dyspnoe, letztere allgemeine klonische Krämpfe der Körpermuskeln, welche von einem ebenfalls in der Medulla oblongata gelegenen Centrum ausgehen. Auch die Athembewegungen bekommen nun einen krampfhaften Charakter, die Gefässmuskeln contrahiren sich, was man an dem Erblassen des Augenhintergrundes bei erstickenden Kaninchen direct constatiren kann. Störung in der Blutzufuhr zum Gehirn, z. B. Verschliessen der Karotiden und Vertebralarterien, ebenso Verbluten (Kussmaul, Tenner) bringen auch zunächst Dyspnoe und dann Allgemeinkrämpfe hervor. Die Steigerung der durch die Störung in der Blutcirculation entstehenden chemischen Gewebsumänderungen in der Medulla (Anhäufung ermüdender Substanzen), endlich der Mangel des zu jeder Aktion der Gewebe wie des Protoplasma nöthigen Sauerstoffs vernichtet die Erregbarkeit der Nervencentra und damit die Athembewegungen und Krämpfe, es tritt **Asphyxie** ein, aus der mit dem Aufhören der Herzaktion der **Erstickungstod** sich ausbildet. **Künstliche Respiration** ist noch im Stande, das Leben wieder zu bringen, besonders wenn das Herz noch schlägt, nach R. Böhm auch bis 40 Minuten nach dem Aufhören der Herzkontraktionen. Die künstliche Athmung besteht in einem rhythmischen Zusammenpressen und Wiederausdehnen des Brustkorbes mit den beiderseits aufgelegten oder den unteren Thoraxrand umgreifenden Händen, wobei der Asphyktische auf den Rücken gelagert wird. Der Mund des Patienten wird, auch mit Anwendung von Gewalt, z. B. durch Einschieben von passenden festen Gegenständen, wie Schlüssel, zwischen die Zähne, geöffnet, die Zunge mit einem Tuche erfasst und möglichst weit herausgezogen, um den Kehldeckel zu heben. Hierbei Oeffnen der Fenster, um frische Luft zuzuführen, Entfernung (Oeffnen) aller den Patienten in der Athmung beengenden Kleidungsstücke etc. Man übt den Druck mit den Händen beim künstlichen Respiriren gegen die Mitte und den unteren Abschnitt des Brustkorbes aus, wodurch auch das Zwerchfell mit beeinflusst wird, das man auch durch Auflegen der Hand auf den Bauch und rhythmisches Pressen desselben mit der Richtung nach oben allein zur künstlichen Athmung verwenden kann. Vor Anwendung roher Gewalt hat man sich zu hüten, namentlich bei asphyktischen Neugeborenen. Nach langsamer Unterbrechung des Placentarkreislaufs bei lang dauernden Geburten tritt Asphyxie bei Neugeborenen bekanntlich häufig auf, indem schon bedeutende Störungen im Blutleben mit Dyspnoe sich einstellen, ehe Gelegenheit zur Sauerstoffaufnahme durch die Lungen gegeben war. Bei der Rückkehr der normalen Athmung infolge der künstlichen sieht man zunächst einzelne krampfhafte Athembewegungen auftreten, aus denen sich bei Rückkehr des Lebens die normale Athemfolge entwickelt. Anwendung der Electricität zur künstlichen Athmung vergleiche man unten bei Electricität.

Das Blut der Erstickten ist nach Setschenow sauerstofffrei, das arterielle, wie das venöse, die keinen Farbenunterschied mehr zeigen, beide sind schwarzroth. Das ohne Luftzutritt mit dem Spektroskop untersuchte Blut zeigt das Spektrum des (reducirten) Haemoglobins (S. 407). Die Kohlensäure ist dem Sauerstoffmangel nicht entsprechend vermehrt, der Stickstoffgehalt des Blutes, der Gehalt an gebundener Kohlensäure scheint unverändert. Die sogenannte Cyanose, die sich bei andauernder Dyspnoe einstellt, kennzeichnet sich durch die bläuliche Färbung der Lippen und Schleimhäute und die livide Blässe der ganzen Haut, der Körper ist kühl, schlaff, Neigung zur Schlafsucht, Sopor, stellt sich ein, die Athmung ist etwas frequenter. Alle diese Erscheinungen beruhen auf dem Mangel an Sauerstoff, der das Blut dunkler macht und den Stoffwechsel und damit Wärme- und Kraftproduktion herabsetzt.

Die Dyspnoe und die daraus sich entwickelnde Asphyxie und Erstickung haben, wie gesagt, in der Mehrzahl der Fälle ihren Grund in mangelnder Sauerstoffzufuhr zum Blute, entweder zum Gesammtblute oder zu dem Blute des Athemcentrums allein. Der Sauerstoffmangel kann hierbei eintreten entweder dadurch, dass die Zufuhr desselben zum Blute gestört oder vernichtet ist durch Behinderung in der Athmung: Verschluss der Stimmritze, der Luftröhre, der Bronchien, Zusammensinken der Lunge durch Druck (Pneumothorax oder Exsudate), theilweise krankhafte Unwegsamkeit des Lungengewebes; die Athem-

bewegungen können z. B. bei Chloroformirten aufhören oder bei Neugeborenen nicht beginnen. Auch die Behinderung der Hautathmung (Firnissen) scheint zum Theil in seinen Wirkungen hierher zu gehören. Andrerseits kann aber auch das Blut nicht oder nicht genügend zu den Respirationsorganen gelangen, entweder indem es in den nervösen Centralorganen der Athmung stagnirt, oder wegen Verschlusses der Pulmonalis oder deren Hauptzweige, oder es fehlt das Blut wie bei der Verblutung mehr oder weniger ganz. Der absolute oder relative Mangel des Sauerstoffs im Athemmedium, in der zum Athmen dargebotenen Luft, kann ebenso Mangel der Sauerstoffzufuhr bewirken, z. B. bei Athmung im abgeschlossenen Luftraum, wobei aber auch die Kohlensäure noch mit zur Wirkung kommt, dann bei dem Versuch der Athmung in indifferenten Gasen, im luftleeren Raum, unter Wasser etc.

Eine eigenthümliche Ursache der Sauerstoffverarmung des Blutes haben wir schon oben S. 434 in der Aufnahme von Kohlenoxydgas und Schwefelwasserstoffgas etc. ins Blut bei der Athmung kennen gelernt. Das erstere Gas treibt den im Blute befindlichen Sauerstoff aus und macht die Blutkörperchen (Haemoglobin) zunächst unfähig, wieder Sauerstoff in sich aufzunehmen. Andere Gase, wie z. B. der Schwefelwasserstoff, entziehen, wie wir sahen, ebenfalls dem Blute seinen Sauerstoffgehalt. Asphyxie aus Kohlenoxydvergiftung kann nur durch sehr lange fortgesetzte künstliche Athmung aufgehoben werden, hier ist die Transfusion des Blutes (W. Kühne) angezeigt. Ist die selbständige Athmung dagegen nur gestört und unregelmässig (Dyspnoe), so ist die künstliche Athmung am Platze, da dann noch nicht alles Blutroth sich mit Kohlenoxyd verbunden hat und der gesunde Rest des Blutes bei gesteigerter Athmung noch hinreichen wird, das Leben zu erhalten.

Als sowohl für die Athmung als für das Leben indifferente Gase bezeichnet man solche, welche mit der genügenden Sauerstoffmenge gemischt, eingeathmet, das Leben nicht beeinträchtigen, für sich allein geathmet aber auch das Leben nicht erhalten können. Nur Stickstoff und Wasserstoff scheinen ganz indifferent, man führt auch noch das Grubengas an. Verschluss der Stimmritze tritt durch die Wirkung der sogenannten irrespirablen Gase ein, welche Stimmritzenkrampf erzeugen. Hierher gehören alle gasförmigen Säuren, zunächst die Kohlensäure, Salzsäure, schwefelige Säure etc., und die säurebildenden Gase, z. B. Stickoxydgas, das sich mit Sauerstoff in Untersalpetersäure verwandelt. Auch alkalische Gase: Ammoniak, Methylamin etc., sowie Chlor und Ozon bewirken Stimmritzenkrampf; führt man diese Gase durch Luftröhrenfisteln ein, so wirken sie giftig, sie erregen Lungenentzündungen (Traube), ebenso, wenn nach Durchschneidung beider Vagi oder Laryngei inferiores die Stimmbänder gelähmt sind.

Ueber das Verhalten der Gase zum Blute vergleiche man das Nähere oben bei Blut.

Die Bewegungen der Lunge. — Die Athembewegungen der Lungen können dem Auge dadurch sichtbar gemacht werden, dass man in einiger Ausdehnung die Brustwand bei lebenden Thieren abträgt bis auf das Rippenfell, die Pleura costalis. Man sieht dann durch diese durchscheinende Membran die Lungen sich verschieben. Die Verschiebung findet vor Allem von oben nach unten statt, wenn das Zwerchfell sich abplattet und von der Brustwand loslöst. Das Herabsteigen der Lunge zieht dabei auch Kehlkopf und Luftröhre nach abwärts, wie man von aussen am Halse sehen kann. Die Erweiterung des Thorax nach der Seite und nach vorne zwingt die Lungen, sich auch von vorne nach hinten zu verschieben. Bei jeder starken Einathmung schieben sich, wie schon bei der Besprechung des Herzstosses angeführt wurde, die vorderen Lungenränder zwischen Herzbeutel und Pleura ein, so dass das Herz, welches bei einer tiefen Ausathmung in ziemlicher Ausdehnung der Brustwand anliegt, nun von dieser durch die sich vorschiebenden Lungenränder getrennt wird. Bei dem Menschen kommen sehr häufig krankhafte Verwachsungen der beiden Pleuraplatten vor, dadurch wird, weil die Verwachsungsstellen geringe Ausdehnbarkeit zeigen, die Verschiebung der Lungen an der Brustwand, wenigstens an den Stellen der Verwachsung gehindert, gleichzeitig aber auch die Ausdehnung der Brust nach der Richtung, welche die Verschiebung der Lunge fordern würde, unmöglich gemacht. Durch derartige ausgebreitetere Verwachsungen, wie sie

in Folge von Entzündungsprocessen der Pleura bei Lungenkrankheiten eintreten, nimmt daher die vitale Kapacität der Lungen oft bedeutend ab.

Für den Arzt sind noch einige Veränderungen des mechanischen Athemvorganges von Wichtigkeit: Niesen und Husten. Beides sind reflektorische Vorgänge, bei beiden folgt auf eine tiefe Inspiration eine oder mehrere kräftige, plötzliche Exspirationsstosse. Bei dem Husten folgt vor den Exspirationsstössen noch ein krampfhaftes Verschliessen der Stimmritze, welcher Verschluss durch die heftigen Ausathemstösse für kurze Zeit unterbrochen wird. In diesem Fall wird der Brustraum so weit zusammengepresst, dass der negative Druck in ihm in einen positiven verwandelt werden kann. Es tritt dann eine venöse Stauung ein, die sich besonders am Kopfe sichtbar macht: Blauhusten etc. Der Husten entsteht reflektorisch durch Reizung der Luftwege (Laryngeus superior), kann aber auch willkürlich zur Entfernung von Schleim etc. aus diesen hervorgerufen werden. Das Niesen entsteht reflektorisch durch sensible Reize der Nasenschleimhaut (Trigeminus). Bei einigen reizbaren Individuen entsteht es auch durch Blicken in grelles Licht, z. B. in die Sonne. Beim Schnäuzen wird willkürlich ein kräftiger Luftstrom durch die Nase, bei dem Räuspern durch den Kehlkopf in den Mund getrieben, um in den betreffenden Höhlen vorhandene Substanzen (Schleim etc.) zu entfernen. Das Schnarchen und Röcheln besteht in Erzitterungen des erschlafften weichen Gaumens durch den Athemluftstrom.

Betheiligung der luftzuleitenden Organe an der Athmung. — Die Nasenhöhle, bei Athmung durch den Mund in geringerem Grade die Mundhöhle, der Kehlkopf, die Luftröhre und die Bronchien dienen nicht nur zu vorläufiger Erwärmung der inspirirten Luft, sondern sie reinigen dieselbe auch zum Theil von groberen schädlichen Beimengungen, welche durch die Haare am Eingang der Nasenhöhlen zurückgehalten werden oder an den mit Schleim überzogenen Wänden der genannten Höhlen haften bleiben. Fast in der ganzen luftleitenden Strecke findet sich Flimmerbewegung, welche, nach aussen gerichtet, Schleim mit seiner Staubbeimischung und andere eingedrungene Partikelchen herausschafft, woran sich der nach aussen gerichtete Luftstrom bei der Exspiration, willkürlich oder unwillkürlich verstärkt, mit betheiligen kann.

Fig. 128.



Formbestandtheile des Auswurfs. *a* Schleim- und Eiterkörperchen; *b* sogenannte Körnchenzellen; *c* mit schwarzem Pigment (Alveolenepithelium); *d* Blutzellen; *e* Flimmerzelle nach Verlust der Wimperhaare und eine derartige Zelle mit Cilien; *f* kugelige Wimperzelle bei Katarrh der Luftwege; *g* Flimmerzellen, welche Eiterkörperchen in ihrem Innern besitzen; *h* Lungenfasern.

Zur ärztlichen Untersuchung. — Auswurf, Sputum. Man fasst unter diesem Namen Alles zusammen, was aus den Respirationswegen: Mundhöhle, Schlund, Trachea, Bronchien, Lungen stammend durch den Mund ausgeworfen wird. Im normalen Auswurf findet sich Schleim, von den Schleimdrüsen der genannten Organe stammend. Dem Schleim ist stets Speichel zugemischt und oft aus der Mundhöhle (hohlen Zähnen etc.) die mannigfaltigsten Speisereste. In krankhaften Zuständen der Organe kann der Auswurf flüssiges Blut, Eiter, Tuberkelmasse, Reste zerstörten Lungengewebes, namentlich elastische Fasern, Gewebselemente des Larynx, organische Concretionen aus den Luftwegen und der Mundhöhle, parasitische Bildungen aus diesen Organen, Theile von Pseudoplasma etc. enthalten (Fig. 128). Der stinkende Geruch der Sputa bei Lungengangrän etc. rührt vorzüglich von flüchtigen Fettsäuren her. Das Mikroskop zeigt also unter Umständen im Auswurfe eine grosse Mannigfaltigkeit der Formen: Pflasterepithelien der Mundhöhle, Flimmerepithelien der Respirationswege, Schleimkörperchen, Eiterkörperchen, Körnchenzellen, Faserstoffgerinsel, Pigmentkörperchen in Zellen und frei, Fetttröpfchen, Blutkörperchen, Reste zerstörten Lungengewebes (elastische Fasern, sogenannte Lungenfasern), glatte Muskelfasern (?), Pigmentzellen, Krebszellen verschiedener Art, Kalkkonkretionen, Knochenstückchen; phos-

phorsaure Ammoniak-Magnesia und Cholestearin, Pilze, Sarcine, Infusorien. Hier und da Stücken des Echinococcus hominis. Als Reste von Speisen: Pflanzenzellen mit Spiralfasern (nicht mit Lungenfasern zu verwechseln!), Stärkekörner, Muskelstückchen etc.; durch Speisereste kann der Auswurf auch gefärbt sein.

Eine eigentliche chemische Untersuchung der Sputa wird in den seltensten Fällen angezeigt sein. Hier und da (bei Icterischen) lässt sich in den Sputis Gallefarbstoff durch Salpetersäure nachweisen. In einem Falle (cf. Galle) sah ich die Sputa aus reiner Galle bestehen, der nur noch etwas Schleim beigemischt war. In der filtrirten Flüssigkeit konnte nicht nur in reichlichster Menge Gallefarbstoff, sondern direct auch Gallensäure mittelst der Pettenkofer'schen Probe nachgewiesen werden. Es hatte sich eine Leber-Lungen-Fistel gebildet, durch welche zeitweilig alle gebildete Galle entleert wurde. — Bronchoblennorrhoische Sputa enthalten hier und da auch Schwefelwasserstoff als Ursache ihres stinkenden Geruchs.

Bei putrider Bronchitis finden sich in den Sputis Pfröpfe, die anfänglich neben Detritus hauptsächlich aus Eiterkörperchen bestehen, sie sind weiss, später werden sie schmutzig grau, es bleibt nur Detritus, in welchem sich nadelförmige Partikeln (Fettsäuren), Fetttropfchen und grössere Fetttropfen auffinden lassen. Die Farbe der Sputa ist sehr wechselnd: weiss, grau, roth, gelb, blau, grün, schwarz etc. Ein eigelbes Sputum findet sich namentlich im Sommer ohne sonstige Erkrankung der Respirationsorgane. Bei Pneumonikern wird das Sputum in den späteren Stadien citronengelb, während es anfänglich weisslich mit rothen Blutstreifen erscheint. Bei Pleuritis mit eitrig stinkendem Auswurf fanden Friedreich und Fr. Schultze relativ grosse Mengen von schön rothen Haematoidinkrystallen (schiefe rhombische Säulen) im Auswurf. In einem anderen Falle fand Ersterer ebenso massenhafte Tyrosinkrystalle in einem ausgehusteten fibrinösen Bronchialgerinnsel. Die schwarzbraune und schwarze Färbung der Sputa rührt meist von verändertem Blutfarbstoff her, manchmal von massenhafter Anhäufung von Pigmentzellen. Leyden fand Tyrosin im Auswurf bei veraltetem Bronchialkatarrh, E. Ungar daneben Krystalle von oxalsaurem Kalk, ohne dass Oxalurie bestand.

Vierzehntes Capitel.

Die Athmung.

Die Chemie des Gaswechsels.

Theorie der Athmung.

In den vorausgehenden Capiteln fesselte unsere Aufmerksamkeit der Vorgang der mit dem Leben der animalen Organismen verbundenen continuirlichen Neubelebung von Substanz; wir sahen unbelebte Materie in den Organismus eintreten und hier als Bestandtheil seiner lebenden Organe selbst am Leben Antheil nehmen, belebt werden. Das Widerspiel dieses Vorgangs ist eine continuirliche Zerstörung, Zersetzung lebender Substanz, ohne welche das Leben sich nicht zu äussern vermag. Aus den Organbestandtheilen, als deren Repräsentanten wir Eiweissstoffe, Fette, Kohlehydrate betrachten, bilden sich im Lebensprocess neben amidartigen Körpern Kohlensäure und Wasser durch einen organischen Oxydationsprocess oder Dissociationsprocess (PFLÜGER) unter Sauerstoffaufnahme. Die Vorgänge der Athmung waren es vorzüglich, an welchen diese fundamentalen Sätze erkannt wurden (S. 523). Die Grundlage der heutigen Anschauung über den Athemprocess haben wir schon bei der Betrachtung der Verschiedenheiten des arteriellen und venösen Blutes besprochen (S. 403, 410); wir erinnern uns, dass ein Theil der Blutgase im Blute den Gesetzen der Gasdiffusion folgt, also nur mechanisch mit dem Blute gemischt ist, während ein anderer Theil durch mechanische Kräfte im Blute fester gebunden wird. Für die einzelnen an der Athmung betheiligten Gase stellen sich die Verhältnisse im Allgemeinen folgendermassen: Der Stickstoff ist im Blute nur absorbirt, nicht chemisch gebunden, ebenso erscheint ein Theil der Kohlensäure. Diese Gase folgen dem DALTON'schen Gesetze. Der im Blute physikalisch diffundirte Kohlensäureantheil raucht an der Luft ab, sowie das Blut mit letzterer, in der für gewöhnlich ein sehr geringer Kohlensäuredruck besteht, in offnere Beziehung tritt. Ist aber unter abnormen Verhältnissen der Kohlensäuredruck in der Atmosphäre höher als im Blute, so kann an Stelle der Abgabe von Kohlensäure eine Aufnahme derselben in das Blut erfolgen. Ein anderer Theil der Kohlensäure ist im Blute theils an Serum, theils an beide Blutkörperchenarten fester chemisch gebunden. Nach SETSCHENOW ist die Kohlensäure in den rothen Blutkörperchen an eine salzartige Verbindung von

Haemoglobin, welches die Rolle der Säure spielt, und Alkali gebunden; im Serum besteht eine analoge Verbindung von Globulin mit Alkali (SERTOLI) und Kohlensäure, in welcher das Globulin aber erst durch die Verbindung mit der letzteren saure Eigenschaften erhält. (Nach P. BERT, E. SALKOWSKI u. A. enthält das Blut nur chemisch gebundene Kohlensäure.) Der in dem Blute locker chemisch gebundene Antheil der Kohlensäure kann durch die im Blute und in den Organen sich entwickelnde Säure freigemacht und damit ebenfalls den Diffusionsgesetzen unterworfen werden. Die Sauerstoffaufnahme bleibt sich unter sonst gleichbleibenden körperlichen Verhältnissen in ziemlich weiten Grenzen annähernd gleich, wenn auch in reinem Sauerstoff oder in sauerstoffärmerer Luft als der atmosphärischen geathmet wird. Der Grund dafür ist in der Anwesenheit der haemoglobinhaltigen Blutkörperchen im Blute zu suchen, die den Sauerstoff an sich binden. Die Abgabe des Wasserdampfes in den Athemorganen folgt dem Verdunstungsgesetze. Die ausgeathmete Luft ist mit Wasserdampf gesättigt und ziemlich genau auf die Körpertemperatur erwärmt, es findet also eine bedeutende Wärmeabgabe bei der Athmung statt. Wasser und Wärme stammen z. Thl. aus den Lungen, z. Thl. aber auch aus den zuleitenden Canälen: Nase, Mundhöhle, Rachen, Bronchien.

MAGNUS u. A. hatten angenommen, dass der Sauerstoff im Blute selbst keine Oxydationen vornehme, dass das arterielle Blut als ein »concentrirter Sauerstoffstrom« den Organismus durchströme, um, in den Geweben angelangt, die dort befindlichen Stoffe zu verbrennen und dafür die gasförmigen Produkte des Gewebsstoffwechsels, Kohlensäure und Wasser, in sich aufzunehmen. Die neuere Physiologie glaubt, dass auch im Blute der Sauerstoff nicht vollkommen unwirksam ist, dass dort, analog wie in den Geweben, Sauerstoff für den chemischen Stoffwechsel verbraucht werde und zwar nach Massgabe der Zellenthätigkeit, die auch im Blute stattfindet. Doch ist dieser Sauerstoffverbrauch im Blute, wie aus der relativ geringen Zahl wahrer Zellen — weissen Blutkörperchen — im Blute schon von vorneherein wahrscheinlich ist, und wie es die Versuchsergebnisse direct bezeugen, immerhin kein bedeutender. Die Oxydationen finden vorwiegend in den Geweben statt. In den Geweben treten nach Massgabe ihrer Thätigkeit die chemischen Processe ein, in Folge deren Kohlensäure in das Blut der Kapillaren einströmt.

So stellt sich also die Theorie der Athmung in Berücksichtigung der wichtigsten Athemstoffe sehr einfach:

Die in die Lungenluft während der Athmung abgegebenen Gase werden nicht erst in der Lunge gebildet, sondern finden sich schon im Blute vor, aus dem sie an die Lungenluft abgegeben werden.

Die Kohlensäure entsteht durch chemische, unter Sauerstoffaufnahme verlaufende Processe aus kohlenstoffhaltigen Körperbestandtheilen und zwar zum kleinsten Theil im Blute selbst, fast ausschliesslich in den Geweben, aus denen sie in das Blut übertritt; im Blute ist sie sowohl im Plasma wie in den Blutkörperchen enthalten. Das Wassergas, welches in der Lungenluft sich befindet, stammt zum kleineren Theil aus der Verbindung wasserstoffhaltiger Blut- und Gewebestoffe mit Sauerstoff, zum grössten Theile aus dem durch die Nahrung in die Säftemasse des Körpers gelangten, in der Lunge verdunstenden Wassers. Die Ausscheidung der Kohlensäure aus dem Blute folgt in

der Hauptsache den Gesetzen der Gasdiffusion, wozu die Kohlensäure z. Thl. aus lockeren Verbindungen im Blut erst abgeschieden wird. Die Wasserabgabe geht nach den Gesetzen der Verdunstung vor sich. Die normal geringfügige Aufnahme des Sauerstoffs in das Blutserum erfolgt nach den Gesetzen der Diffusion. Das Gesammtblut nimmt dagegen weit mehr Sauerstoff auf, als es diffundirt enthalten kann: Der Sauerstoff wird im Blute der Hauptmenge nach durch den Farbstoff der Blutkörperchen, das Haemoglobin, gebunden. Der Absorptionscoëfficient des Blutes für Sauerstoff, d. h. das Volum Sauerstoff, welches die Volumeinheit Blut aus reinem Sauerstoff durch einfache Diffusion aufnehmen kann, beträgt bei der Temperatur des lebenden Körpers nur etwa 0,02 Vol. pCt., während das Blut in den Lungen ca. 7,8 Vol. pCt. durch die lockere chemische Bindung des Sauerstoffes an das Haemoglobin aufnimmt. Es hängt also wesentlich von der Menge des im Blute enthaltenen Haemoglobins ab, wieviel Sauerstoff das Blut in den Lungen aufnehmen kann. Wieviel es in der Zeiteinheit wirklich aufnimmt, wird durch den je nach der Intensität der Lebensvorgänge schwankenden Sauerstoffverbrauch in den Geweben regulirt (Pflüger).

Der Stickstoffgehalt der Atmosphäre wird nur seinem Druck entsprechend in die Blut- und Gewebsflüssigkeiten aufgenommen. In der Athmung wird, wie es scheint, kein der Gewebszersetzung entstammender Stickstoff ausgeschieden. Der den zersetzten stickstoffhaltigen Körperstoffen entstammende Stickstoff geht in chemischer Verbindung mit Kohlenstoff, Wasserstoff und Sauerstoff als Harnstoff, Harnsäure, Kreatinin etc. etc. im Harne weg (Voit, J. Ranke, Henneberg) (über Ammoniak cf. unten).

Dagegen haben Regnault und Reiset, neuerdings wieder J. Segen und J. Nowak ein Stickstoffplus in der Athemausscheidung bei Thieren gefunden, welches sich nach den Versuchen der Letzteren bei der Katze und bei dem Hahn in nicht ganz unbeträchtlichen Grossen bewegte.

Die Athemorgane — Lungen wie Kiemen — functioniren normal nur im feuchten Zustande. Die feinen feuchten Membranen der Lungenbläschen und Kapillaren setzen den Diffusionsvorgängen nur geringe, bisher aber quantitativ noch nicht bestimmte Widerstände entgegen. Exner hat die Gasdiffusion durch dünne Flüssigkeitsschichten in Seifenblasen, Wroblewski durch Kautschukmembranen beobachtet. Nach Ersterem ist die Diffusionsgeschwindigkeit der Gase und Dämpfe durch »Flüssigkeitslamellen«, welche in gewissem Sinne analoge Verhältnisse wie die dünnen feuchten Lungenmembranen darbieten, dem Absorptionsverhältniss der Flüssigkeiten und der diffundirenden Gase direct, den Quadratwurzeln aus den specifischen Gewichten der letzteren umgekehrt proportional. Nach Wroblewski ist die Diffusionsgeschwindigkeit durch Kautschukmembranen direct proportional dem Druck der diffundirenden Gase auf die Membranen.

Historische Bemerkungen.

Es hat unter den physiologischen Vorgängen im menschlichen Organismus Nichts so früh das Augenmerk auf sich gezogen, als der Vorgang des Athmens. Wie bald man angefangen über diesen Vorgang zu philosophiren, beweisen die Benennungen der Seele als πνεῦμα und anima: schon in der ersten Bildungsperiode der Sprachen hatte man den Werth des ein- und ausströmenden Hauches als der eigentlichen Quelle des thierischen Lebens erkannt.

Eine spätere philosophische Zeit musste durch den beständigen Wechselverkehr der

lebenden Organismen mit der Atmosphäre, die ihr der Sitz der höchsten Kräfte war, auf den Gedanken gebracht werden, dass dieser Vorgang das Verbindungsglied sei der unteren mit oberen Wesen, und da man beobachtete, dass alle höheren Entwickelungen der psychischen Eigenschaften nur bei athmenden Wesen in Erscheinung treten, so ist es nicht sehr verwunderlich, wenn die Lehre der Pythagoräer nicht nur das Lebensprincip als solches in den Aether verlegt, von dem aus es sich den athmenden Thieren in beständiger Erneuerung mittheilt, sondern auch diesem Aether eine erkennende Kraft gleich der der Seele selbst zuschreibt. PLATO (Tim.) ahnte in etwas den wahren Vorgang der Respiration und seine freilich ziemlich undeutlichen Aussprüche mahnen den Leser an Anschauungen unserer Tage.

Doch müssen wir es auch in dieser Frage, wie fast in jeder, die sich auf exacte Naturbeobachtung bezieht, dem Altmeister der Forschung im Gebiete der Natur: ARISTOTELES zuerkennen, dass er es war, der richtigere Anschauungen, soweit es seiner Zeit möglich, gewonnen. Er lehrte, dass durch das Athmen das Leben der beseelten Wesen bestehe. Beim Athmen dringe der Lufthauch (τὸ πνεῦμα) aus den Lungen in das Herz, zu welchem Zwecke er besondere Canäle annahm, und vertheile sich von dort aus in dem Körper.* Auf einem ganz anderen Weg, als Jahrtausende nach ihm unsere neue Wissenschaft, fand er den Zusammenhang des Athemprocesses mit der thierischen Wärme. Der Weg, der ihn leitete, war der der vergleichenden Anatomie. Er lehrt in seinem Buche über die Arten der Thiere, dass die Lebenswärme der Thiere um so höher sich steigere, je vollkommener die Lungen gebildet seien, und zieht daraus den Schluss: dass durch das Vorhandensein der Lunge, des Respirationsorganes, die Lebenswärme regulirt werde. Nachdem wir ARISTOTELES bis zu dieser Höhe der Anschauung gelangt sehen, begegnen wir in der folgenden Zeit bis zum Ende des Mittelalters einem eigentlich wesentlichen Fortschritt in der Theorie des Athmens nicht mehr. (cf. Zur Entwickelung der Ernährungslehre S. 198.) GALEN und PLINIUS, die Lehren des Mittelalters, schliessen sich eng an ARISTOTELES an.

Ein weiterer Fortschritt in der Lehre von der Athmung knüpfte sich erst an die Entdeckung des Kreislaufes (1619), durch welche es nachgewiesen wurde, dass beständig ein Theil des Blutes durch die Lungen ströme, um von dort aus neu belebt durch die Arterien nach allen Theilen getrieben zu werden. Damit war der directe Wechselverkehr des Blutes mit der Luft erwiesen.

Die Chemie war zu jener Zeit noch nicht entwickelt genug, um eine andere als eine rein mechanische Anschauung von dem Vorgange der Athmung allgemein aufkommen zu lassen. Das Blut bekommt ein gewisses Lebensprincip aus der Atmosphäre mitgetheilt und leitet es als Träger desselben allen Körpertheilen zu, die das räthselhafte Agens aus dem Blute an sich ziehen. Das Blut ersetzt den durch diese Abgabe eintretenden Verlust, indem es in den Lungen von Neuem mit der Luft in Beziehung tritt.

Mit der Entdeckung des Sauerstoffes am 1. August 1774 durch PRIESTLEY beginnt die neue Aera der chemischen Naturforschung, von diesem Tage datirt ein vollkommener Umschwung der Ansichten über die Vorgänge der Natur. Ein Jahr später fand LAVOISIER den Stickstoff und mit ihm die Zusammensetzung der Luft. Die Kohlensäure hatte schon über ein Jahrhundert vorher BAPTIST HELMONT aufgefunden, ebenso den Wasserstoff. Die Theorie der Verbrennung ist es, auf welcher LAVOISIER sein neues System der Chemie aufbaute und auf diese Weise aus einer Sammlung von Recepten eine Wissenschaft erschuf.

Schon 4 Jahre vor der Entdeckung des Sauerstoffs hatte PRIESTLEY die Ausscheidung der Kohlensäure durch den Organismus im Athemprocesse gefunden, die Wasserausscheidung war schon seit den ältesten Zeiten aufgefallen. Es war natürlich, diese beiden Vorgänge, Kohlensäure und Wasserbildung, die sich in derselben Weise bei der Verbrennung aller organischen Körper fanden, auch bei der Athmung auf eine Oxydation zurückzuführen. LAVOISIER's chemische Theorie, die mit der von LAPLACE und PROUT übereinstimmt, lehrt, dass das Blut in den Lungenzellen fortwährend eine Flüssigkeit absondere, die vorzüglich aus Kohlenstoff und Wasserstoff besteht. Diese vereinigt sich mit dem Sauerstoff der Luft zu Kohlensäure und Wasser und wird in dieser neuen Stoffanordnung beim Athmen entfernt.

Der Herd der Oxydation wird nach dieser Ansicht in die Lungen ausserhalb des Blutes verlegt. Die Thatsache, dass die Lungen im Allgemeinen keineswegs wärmer sind, als die anderen Theile des Körpers, schien a priori gegen eine solche Annahme zu sprechen, auch konnte die genannte hypothetische Flüssigkeit in den Lungen nicht aufgefunden werden. HUMPHRY DAVY liess mit Umgehung dieser Flüssigkeit durch die Wände der Lungenzellen die Luft in die Kapillargefässe eindringen. Die nun im Blute aufgelöste Luft wirkt wegen Verwandtschaft des Sauerstoffs zu den Blutkörperchen auf diese zersetzend ein, und es wird Kohlensäure frei. Er setzte auch den Wärme- und Kohlensäurebildungsprocess in das Blut der Lungen und konnte dafür die Untersuchungen F. DAVY's anführen, der das arterielle Blut 1—1 $^1/_2$ ° Fahrenheit wärmer gefunden hatte, als das venöse. An diese Theorien schliessen sich die Theorien von MITSCHERLICH, GMELIN und TIEDEMANN an. Sie gehen von der Existenz der Essigsäure oder Milchsäure im freien oder gebundenen Zustand in den meisten Sekreten und im Blute aus, von der sie glaubten, dass sie durch die Einwirkung des Sauerstoffs bei der Athmung aus höher zusammengesetzten Stoffen entstehen. Sie hatten ausgemittelt, dass das venöse Blut mehr an Alkali gebundene Kohlensäure enthalte, als das arterielle, und behaupteten nun, dass die bei dem Athmen gebildete organische Säure das kohlensaure Alkali des venösen Blutes zersetze, worauf die Kohlensäure ausgeathmet wurde. Doch gehen sie nicht so weit, die Bildung von Kohlensäure und Wasser durch directe Oxydation ganz zu leugnen.

Es zeugt von dem kritischen Geist MAGENDIE's dass er sich für keine Athemtheorie fest ausspricht. Er lässt es dahin gestellt, ob der Sauerstoff dazu diene, in den Lungen einen Theil des Kohlenstoffs des Blutes zu oxydiren, oder ob er in das Blut übergehe und so fortgeführt erst während des grossen Kreislaufes seine oxydirenden Wirkungen entfalte. Ja es scheint ihm noch nicht einmal ausgemacht, dass die Wirkung des Sauerstoffs in einer Oxydation bestehe, und dass die Kohlensäureausscheidung diesem Vorgang ihre Entstehung verdanke; doch neigte er sich dieser Annahme deswegen zu, weil er nach F. DAVY an die höhere Temperatur des arteriellen Blutes glaubte. Gegen die Annahme LAVOISIER's, dass die Wasserausscheidung durch die Lungen zu einem nicht unbeträchtlichen Theil einer Verbrennung von Wasserstoff ihre Entstehung verdanke, spricht er sich verneinend aus, da er einen genügenden Erklärungsgrund dafür in der Wasserabdunstung aus den Gefässen findet, wie er durch directe Versuche erwiesen. MAGENDIE bildet den Uebergang zu einer im Gegensatz zu den rein chemischen Theorien sogenannten physikalischen Theorie, als deren Hauptvertreter MAGNUS genannt werden muss. Das Augenmerk einer Anzahl bedeutender Forscher in dem Gebiete der Physiologie war schon seit Beginn der neuen Anschauungen über den Process der Athmung darauf gerichtet gewesen, zu entscheiden, ob das Blut nicht vielleicht die Gase, die es in den Lungen abgiebt, schon vor seinem Eintritt in letzteres Organ besässe. VOGEL, BRAND, COLLARD DE MARTIGNY haben nachgewiesen, dass das Venenblut wirklich Kohlensäure enthalte, H. DAVY, dass sich aus dem arteriellen Blut Sauerstoff entwickeln lasse. HOFFMANN, BISCHOFF, BERTUCH bestätigten den Kohlensäuregehalt des Venenblutes, als widersprechende Versuche ihn wieder zweifelhaft gemacht hatten. Doch sind es hauptsächlich die Arbeiten von MAGNUS über den Luftgehalt beider Blutarten, welche die Frage zur endlichen Entscheidung brachten. Er wies nach, dass aus dem venösen wie arteriellen Blute Sauerstoff, Kohlensäure und Stickstoff erhalten werden könne, und dass beide Blutarten in ihrem Luftgehalt qualitativ nicht differirten. Die entscheidende Beobachtung war jedoch die, dass nach seinen Experimenten im venösen Blut der Sauerstoff höchstens $1/4$ der gefundenen Kohlensäure beträgt, in dem arteriellen Blute hingegen fast $1/2$. Auf diese Beobachtung baute er seine mechanische Respirationstheorie. Nach ihr tritt in den Lungen keine Kohlensäure aus als solche, die schon fertig mit dem Venenblut zugeführt wurde. Der Sauerstoff löst sich in dem Blute auf, ohne sogleich darin eine chemische Rolle zu spielen. Der Respirationsprocess in den Lungen ist darnach ein physikalischer Gasaustausch nach den Gesetzen der Diffusion. Die Oxydationsvorgänge finden erst im Kapillargefässsysteme des grossen Kreislaufes statt, wo das sauerstoffreiche arterielle Blut mit den verbrennlichen Stoffen

der Gewebsflussigkeiten zusammentrifft. Unsere Zeit hat zu einer Vereinigung der chemischen und mechanischen Respirationstheorien geführt.

Apparate zur Bestimmung der Respirations-Ausscheidung.

Um die Athemluft qualitativ und quantitativ zu untersuchen, athmete man nach dem Vorgang von Vierordt in eine mit Salzwasser gefüllte, graduirte Glocke. Sie hatte an der Spitze einen Hahn, um einen Theil der in sie eingeblasenen Gase, welche an der Eintheilung der Glocke dem Volum nach zu messen waren, in ein Eudiometer zur Analyse treten zu lassen. Zu demselben Zwecke kann das Hutchinson'sche Spirometer verwendet werden. Lossen arbeitete mit einem von C. Voit zusammengestellten Apparate. Er bestand 1) aus den Müller'schen Wasserventilen, welche die inspirirte und exspirirte Luft von einander isolirten; 2) aus einer geaichten doppelhalsigen Flasche, in welcher die Probe der zu untersuchenden Luft aufgefangen wurde; und 3) aus der die gesammte exspirirte Luft messenden Gasuhr. In die Wasserventile mündeten zwei in ein zinnernes Mundstuck auslaufende weite Kautschukschläuche, in diese waren zum Auffangen des Speichels noch T-förmig gebogene Glasröhren eingeschaltet. Die ungefähr 2 Liter fassende doppelhalsige Flasche stand durch zwei genau gearbeitete messingne Hähne auf der einen Seite mit dem einen Wasserventil, auf der andern mit der geaichten Gasuhr in Verbindung. Die beiden messingnen Ansatzstücke wurden durch Ueberwurfsschrauben auf der Flasche luftdicht befestigt und konnten leicht abgenommen werden. Zum raschen Wechsel und zur öfteren Probenahme standen drei solche Flaschen, auf die die gleichen Hähne aufgeschraubt werden konnten, zur Verfügung. Der gegen das Ventil zu gerichtete Hahn der geaichten Flasche lief in eine bis nahe an den Boden der Flasche reichende Glasröhre aus. Die Ausathemluft musste daher von unten nach oben durch die Flasche streichen, wodurch eine gleichmässige Mischung der Luft erreicht wurde. Am andern Hahne hing von einem Haken ein in $^1/_{10}{}^0$ getheiltes Thermometer in den Raum der Flasche herab, dessen Quecksilberstand von aussen mehrmals während eines Versuchs abgelesen wurde. Die Temperatur der durch die Gasuhr gehenden Luft konnte durch ein in sie eingestelltes Thermometer bestimmt werden. Auch die Zimmertemperatur und der Barometerstand wurden notirt. Alle Glas- und Kautschukröhren und die Bohrungen der Hähne des Apparates hatten, um die Athmung möglichst wenig zu beeinträchtigen, einen möglichst weiten Durchmesser (von 19 mm im Lichten). Beim Beginn des Versuchs wurde das Mundstück zwischen Lippen und Zähne genommen, die Nase mit einer Nasenzwinge verschlossen und nun geathmet. Die Inspirationsluft trat durch ein eben unter Wasser mündendes Glasrohr in das erste Müller'sche Ventil ein. Jedes dieser Ventile besteht aus einem luftdicht verschlossenen Glase, durch dessen Deckel zwei Röhren führen. Die eine längere mündet, wie gesagt, unter Wasser, so dass die eingeblasene Luft eine kleine Wassersäule durchsetzen muss, um in das Ventil zu gelangen. Die zweite Röhre mündet kurz unter dem Deckel und ist dazu bestimmt, die durch die erste Röhre eingeströmte Luft aus dem Ventil wieder weiter zu leiten. Die erst genannte längere Röhre mündet ausserhalb des Ventils frei in die Luft; durch sie wird die Luft eingesogen. Die kurze Röhre stand mit dem Mundstück durch den einen Kautschukschlauch in Verbindung. Auf diesem Wege gelangte die Luft in den Mund und die Lunge. Die ausgeathmete Luft strömte in ein gleiches Ventil, dessen längere Röhre mit Mundstück durch das zweite Kautschukrohr verbunden war, ein. Die kürzere Röhre war durch einen Schlauch mit der geaichten Flasche, diese mit der Gasuhr verbunden. Die Ventile gestatten, wie die Anschauung ergibt, der Luft den Durchgang nur in der verlangten Richtung. Die Kohlensäure in der Flasche wurde nach der Pettenkofer'schen Methode mit Baryt bestimmt. Der Apparat ist so einfach, dass er sich zur Bestimmung der Athemgase für ärztliche Zwecke gut eignet. Man athmet leicht eine bestimmte Zeit, 15 Minuten bis 1 Stunde, durch die weiten Röhren. An der Gasuhr kann die Gesammtmenge der geathmeten Luft bestimmt werden, deren Kohlensäuregehalt sich aus der Probe der Luft in der geaichten Flasche berechnen lässt. Selbstverständlich muss in der Zimmerluft die Kohlensäure (nach der Pettenkofer'schen Me-

thode) gleichzeitig bestimmt werden, um die Kohlensäure in der eingeathmeten Luft von der in der ausgeathmeten abziehen zu können. Die Luftvolumina werden auf 0° und 760 mm Barometerstand berechnet. Die Luft ist schon durch die Ventile mit Wasser gesättigt.

Um die Gesammtgasausscheidung des Körpers für längere Zeiten (z. B. 24 Stunden) zu bestimmen, dienen die Apparate von Regnault, Reiset und v. Pettenkofer. Der erstere besteht im Wesentlichen aus einem luftdicht verschlossenen Kasten, in welchem das Versuchsthier sich befindet. Die ausgeathmete Kohlensäure wird beständig absorbirt, und es strömt dafür reiner Sauerstoff zu; der Sauerstoff wird direct bestimmt. Bei dem ursprünglichen Pettenkofer'schen Apparat saugt eine durch eine Dampfmaschine oder eine Turbine, Wasserrad etc. getriebene Pumpvorrichtung aus einem für die Aufnahme eines Menschen oder grossen Thieres berechneten »Salon« mit mehreren Luftröhren die Luft mit der erforderlichen Geschwindigkeit aus, dass nur ein Luftstrom in den Salon herein und von da in die Abzugsröhre entstehen kann. Alle eingeströmte Luft macht diesen Weg ebenso, wie aus einem geheizten Ofen, bei richtigem Zuge, nur durch das Kamin die Luft entweichen darf. Die gesammte, den »Salon« durchströmende Luft wird durch eine grosse Gasuhr gezogen und gemessen, nachdem sie vorher durch Wasser gestrichen ist, um mit Wasserdampf gesättigt zu werden, und ihre Temperatur bestimmt wurde. Ein bestimmter, in einer kleinen Gasuhr zu messender Bruchtheil dieser Gesammtluft wird durch Röhren mit Barytwasser gepresst und gibt hier seine Kohlensäure ab, die dann nach Pettenkofer durch Titer bestimmt werden kann. Vorher wurde sie durch concentrirte Schwefelsäure geleitet, um ihr das Wasser zur Gewichtsbestimmung desselben zu entziehen. Von dem Kohlensäure- und Wassergehalt in der direct untersuchten Luftmenge wird auf den Kohlensäuregehalt der Gesammtluft gerechnet. Natürlich muss auch hier der Kohlensäuregehalt der eingeströmten Luft fortwährend gleichzeitig bestimmt werden. Der Sauerstoff wird indirect durch Gewichtsbestimmung des Versuchsthieres vor und nach dem Versuch bestimmt. C. Voit und seine Schüler arbeiteten mit einem kleinen, für kleinere Thiere gebauten Pettenkofer'schen Apparate. Die Apparate der später zu nennenden Autoren schliessen sich im Wesentlichen entweder dem Regnault'schen Princip mit directer Sauerstoffbestimmung oder dem Pettenkofer'schen an.

Quantitative Verhältnisse der Athemgase.

Im normalen Respirationsprocess des Menschen (wie der Thiere) wird der eingeathmeten Luft Sauerstoff entzogen, dafür aber Kohlensäure zugeführt, so dass die ausgeathmete Luft weniger Sauerstoff und mehr Kohlensäure als die eingeathmete enthält. Das Luftvolum vermindert sich dabei durch einmalige Aufnahme in die Lunge in verschiedenem Maasse, da normal stets ein grösseres Volumen Sauerstoff aus der eingeathmeten Luft verschwindet, als Kohlensäure in der Ausathemluft wiedererscheint (cf. unten). Ein gesunder Mann von 57—58 Kilogramm Körpergewicht nimmt bei normaler, nur durch den Appetit geregelter Ernährung und relativer Körperruhe in ruhiger gewöhnlicher Athmung während einer Minute im Mittel 7,52 Liter Luft (wasserfrei gemessen) ein, und athmet in der gleichen Zeit 7,48 Liter (wasserfrei gemessen) aus, es treten hierbei im Mittel 0,518 Gramm Sauerstoff in das Blut ein, während 0,619 Gramm Kohlensäure aus dem Blute in die Ausathemluft abgegeben werden (Speck). Vierordt fand unter analogen Bedingungen den Kohlensäuregehalt der Exspirationsluft schwankend zwischen 3,4—5,5, im Mittel = 4,3 Vol. pCt., während die eingeathmete reine atmosphärische Luft nur verschwindende Spuren (ca. 0,0004 Vol. pCt.) Kohlensäure enthält. Die wichtigsten Verhältnisse der Gasveränderung bei der normalen Athmung gibt folgende kleine Tabelle (Vierordt):

	Einathmungsluft:	Ausathmungsluft:	Differenz:
Stickstoff	79,2	79,2	= 0
Sauerstoff	20,8	15,4	— 5,4
Kohlensäure	0	4,4	+ 4,4
Volum	= 100,0	99,0	— 1

Aus den Speck'schen Angaben berechnet sich der Gesammtverbrauch an Sauerstoff in 24 Stunden für einen Erwachsenen unter den angegebenen Lebensbedingungen im Mittel zu 746 Gramm Sauerstoff, seine Kohlensäureausgabe während der gleichen Zeit auf 891 Gramm; das Verhältniss des aus der eingeathmeten Luft verschwundenen zu dem in der Ausathmungsluft in der Kohlensäure wiedererscheinenden Sauerstoffs ist: 100 : 869. Etwas kleinere Werthe für die tägliche Kohlensäureausscheidung des Menschen unter den von Speck eingehaltenen Verhältnissen bei Körperruhe und der nur durch den normalen Appetit geregelten gemischten Kost der höheren Stände ergaben meine nicht für 24 Stunden berechneten, sondern für diesen Zeitraum wirklich ausgeführten Bestimmungen (mit dem v. Pettenkofer'schen Respirationsapparat); ein gesunder jugendlicher Mann (72 Kilogramm Körpergewicht) schied im Tage in 2 Versuchen aus 759,5 und 791,1 Gramm Kohlensäure, im Mittel also 775,3 Gramm.

Die quantitativen Verhältnisse der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe in der Athmung schwanken je nach der grösseren oder geringeren Intensität der Gesammtstoffwechselvorgänge im Organismus. Jene Bedingungen, welche den Gesammtstoffwechsel ansteigen oder abfallen lassen, haben im letzten Erfolg den gleichen Einfluss auf den Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureabgabe in der Athmung. Da sich aber der in der Athmung aufgenommene Sauerstoff nicht so ohne Weiteres im Körper mit dem Kohlenstoff der Organbestandtheile zu Kohlensäure verbindet, sondern zunächst zur Bildung verschiedener Zwischenglieder zwischen den chemisch hochzusammengesetzten Körperbestandtheilen und den Endprodukten ihrer organischen Oxydation Verwendung findet, so werden sich selbstverständlich in kleineren Beobachtungszeiten die Mengen des in der Athmung verschwundenen Sauerstoffs und der in der Exspirationsluft wieder erschienenen Kohlensäure nicht immer in den gleichen Verhältnissen vermehrt und vermindert zeigen können; die Ausgleichung erfolgt erst in etwas grösseren Zeiträumen und nur dann schon in 24 Stunden, wenn sich der Körper in dieser Zeit in vollkommenes Gleichgewicht mit seinen äusseren und inneren Lebensbedingungen gesetzt hat.

Das Bedürfniss nach Sauerstoff wächst mit der zunehmenden mechanischen Leistung der Zellen, der Organe, des Gesammtkörpers, und das Bedürfniss »der Zelle« nach Sauerstoff, d. h. ihr Sauerstoffverbrauch, ist die einzige normal bestehende regulirende Einrichtung für die Sauerstoffaufnahme aus dem Blut und in dieses aus der Athemluft. Mit der gesteigerten mechanischen Leistung steigt, wie der Sauerstoffconsum, so auch die Produktion der Endglieder der organischen Oxydation der Körperstoffe, vor Allem der Kohlensäure, aber auch des Wassers und der krystallinischen, stickstoffhaltigen Zersetzungsprodukte.

Vor den Untersuchungen Pflüger's (cf. S. 207) hatte man sich die hier obwaltenden Verhältnisse im Principe anders gedacht. Nicht das Bedürfniss »der

Zellen«, sondern eine grössere oder geringere Menge des ihnen zugeführten Sauerstoffs sollte die Grösse des Sauerstoffconsums und der Stoffzersetzung, und damit die der Kohlensäurebildung in der Athmung reguliren, etwa so, wie ein Feuer durch gesteigerte Wirkung des Gebläses stärker angefacht, und sein Sauerstoffverbrauch und seine Kohlensäurebildung dadurch vermehrt werden kann (S. 199, Galen). Man schien für diese Anschauung eine Anzahl wohlbegründeter experimenteller Versuchsergebnisse anführen zu können, nach welchen durch stärkere, energischere Lungenventilation nicht nur eine Vermehrung der Sauerstoffaufnahme in das Blut, sondern auch eine gesteigerte Kohlensäureabgabe erfolgt. (Bei künstlich gesteigerter Athmung tritt der oben S. 520 geschilderte Zustand der Apnoe ein, in welchem das arterielle Blut mehr als normal Sauerstoff aufgenommen hat und sogar vollständig mit Sauerstoff gesättigt sein kann.) In Beziehung auf die Kohlensäureausscheidung lehrten uns die Versuche Vierordt's, welche durch Lossen u. A. im Wesentlichen bestätigt wurden, in der Veränderung der Zahl und Tiefe der Athemzüge Einflüsse kennen, durch welche die Menge der in der Exspirationsluft erscheinenden Kohlensäure verändert, resp. gesteigert werden kann. In dem gleichen ein- und ausgeathmeten Luftvolumen erscheint mehr Kohlensäure, wenn der Luftwechsel durch tiefere, aber seltenere Athemzüge erfolgte. Athmet man in der Zeiteinheit bei gleicher Tiefe häufiger, oder bei gleicher Häufigkeit der Athemzüge tiefer, so wird zwar meist procentisch die Kohlensäuremenge in dem durch beide Aenderungen des normalen Athemrhythmus vergrösserten Volum der Ausathmungsluft verringert (Berg fand sie vergrössert), absolut aber stets mehr Kohlensäure ausgeschieden. Bei sehr schnellem Athmen, ohne Regulirung der Tiefe der Inspirationen, fand Vierordt das gleiche Verhältniss; die Beobachtungen Lossen's zeigen aber, dass, wenn die raschen Athemzüge gleichzeitig sehr flach sind, hierbei auch eine absolute Verminderung der Kohlensäureabgabe eintreten kann. Wir sind also im Stande, dadurch, dass wir z. B. durch gesteigerte Lungenventilation den Kohlensäuredruck (Kohlensäuregehalt) der Lungenluft vermindern, in der Zeiteinheit mehr Kohlensäure aus dem Blute heraus zu schaffen, da die Kohlensäurediffusion zwischen Lungenblut und Lungenluft um so rascher vor sich geht, je grösser die Differenz der Kohlensäurespannung zwischen beiden ist. Damit stimmt überein, dass eine Steigerung der Kohlensäureabgabe in der Athmung auch erzielt werden kann durch noch weitere Verminderung des in der normalen Atmosphäre schon an sich so kleinen Kohlensäuredrucks, indem wir z. B. in sonst normaler, aber im Allgemeinen verdünnter Luft bei geringerem Luftdruck athmen (Vierordt u. A.). Diese Abhängigkeit der Ausscheidungsgrösse der Kohlensäure von dem grösseren oder geringeren Kohlensäuredruck der Atmosphäre, in welcher geathmet wird, zeigt sich auch darin, dass die Kohlensäureabgabe immer geringer, ja selbst ganz unterdrückt und in eine Kohlensäureaufnahme in das Blut verwandelt werden kann, wenn z. B. in geschlossenem Athemraum der Kohlensäuregehalt der Inspirationsluft steigt und zuletzt den des Blutes übertrifft. Bei Kaninchen treten dann Vergiftungserscheinungen durch Kohlensäure auf, wenn das von dem Thiere aufgenommene Volum Kohlensäure die Hälfte ihres Körpervolums erreicht hat (W. Müller).

Pflüger's Experimente beweisen aber, dass diese sich übrigens stets

quantitativ nur in sehr engen Grenzen haltenden, nach Hoppe-Seyler auch zeitlich eng umgrenzten Veränderungen des Lungengaswechsels, beruhend auf einer Veränderung der Diffusionsbedingungen der Kohlensäure (und des Sauerstoffs), keinen Einfluss auf den Gesammtstoffwechsel haben. Pflüger konnte experimentell constatiren, dass bei den energischsten Athembewegungen, auch bei reiner Sauerstoffzufuhr, die Sauerstoffaufnahme in die Körperorgane aus dem Blute nicht grösser ist, als bei gewöhnlicher Athmung: die Sauerstoffaufnahme aus dem Blut, der Sauerstoffverbrauch des Organismus ist von der Athemmechanik unabhängig; die künstliche Athmung und das Bestehen des apnoischen Zustandes trotz der dabei eintretenden vollkommenen Sättigung des arteriellen Blutes mit Sauerstoff haben weder eine Aenderung des Sauerstoffverbrauchs, noch der Kohlensäurebildung zur Folge (Pflüger).

Dagegen erhöht Alles, was die Lebensthätigkeit des Gesammtorganismus, seiner Organe, seiner Zellen steigert, die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe in der Athmung e. v. v. Daraus ergibt sich, dass Nahrungsaufnahme und Nahrungsenthaltung, Schlaf und Wachen, Arbeit und Ruhe, Erniedrigung und Erhöhung der Lufttemperatur u. m. a. bei dem gleichen Individuum wesentliche Aenderungen in der Quantität der in der Athmung gewechselten Gase hervorbringen müssen. Die Beobachtungen von Vierordt, Berg, Pettenkofer u. Voit u. A. ergeben in diesem Sinne eine innige Abhängigkeit der Athmung von den Tageszeiten bei normalen Lebensgewohnheiten. Das Volum der Athemluft und ihr procentischer Gehalt an Kohlensäure sind während der Nacht am geringsten, einige Zeit nach dem Essen am grössten. Berg sah von Morgens 7 Uhr an Athemvolum und Kohlensäuremenge bis 10—11 Uhr ansteigen, dann bis 1 Uhr (Mittagessensstunde) etwas absinken; nach dem Mittagessen stiegen beide Grössen 4—5 Stunden lang an, dann folgt ein Zurückgehen, welches um 8 Uhr das (leichte) Abendessen für 2 Stunden in ein Ansteigen verwandelt, worauf während der Nacht das schon erwähnte Sinken der Gesammtathmung eintritt. Nach Alkoholgenuss sinkt dagegen die Kohlensäureabgabe in der Athmung sofort (Vierordt, Berg). Entsprechend den S. 229 dargestellten Ergebnissen Pflüger's über die Einwirkung der äusseren Temperatur und der Körperwärme auf den Stoffwechsel von Thieren haben Speck u. A. nachweisen können, dass bei dem Menschen durch äussere Erniedrigung der Temperatur sowohl die Sauerstoffaufnahme, als die Kohlensäureabgabe ansteigen. Sehr bedeutend wirken nach der Seite der Erhöhung der Gesammtathmung gesteigerte Muskelanstrengungen. Für kürzere Beobachtungszeiten haben wir hierüber die Untersuchungen Speck's am Menschen anzuführen, welche durch die zahlreichen Versuche anderer Autoren an kalt- und warmblütigen Thieren bestätigt werden. Pettenkofer und Voit haben den Gesammtstoffwechsel des Menschen bei relativer Ruhe und Muskelarbeit während 24 stündiger Perioden mit dem Pettenkofer'schen Apparate untersucht, wodurch in sehr anschaulicher Weise die hier obwaltenden Verhältnisse bei verschiedener Ernährung klar gelegt wurden. In Beziehung auf die Kohlensäureabgabe fanden sie an der gleichen Versuchsperson:

I. Hungerzustand.	Ruhe:	695	Gramm CO_2 in 24 Stunden ausgeschieden
	Muskelarbeit:	1187	- - - - - -
II. Mittlere Kost.	1. Ruhe:	912	- - - - - -
	Muskelarbeit:	1285	- - - - - -
	2. Ruhe:	930	- - - - - -
	Muskelarbeit:	1134	- - - - - -
III. Eiweissreiche Kost.	1. Ruhe:	1008	- - - - - -
	2. Ruhe:	1038	- - - - - -
IV. Stickstofffreie Kost.	Ruhe:	839	- - - - - -

Lebensalter, Geschlecht, Temperamente, Constitutionen, Beschäftigungsweise, Lebensgewohnheiten, psychische Stimmungen, Jahreszeiten etc. gehen unverkennbar, ähnlich wie die Tageszeiten, mit bestimmten Ernährungs- und Thätigkeitszuständen des Körpers Hand in Hand; darin liegt der Grund, warum bei ihnen die Gasausgabe in der Athmung mit dem Gesammtstoffwechsel sich in bestimmter Weise charakterisirt (cf. oben S. 230).

Wir haben in den bisherigen Betrachtungen an dem Grundsatz festgehalten, dass die Abgabe der im Blut gelösten Kohlensäure an die Lungenluft nach den Gesetzen der Diffusion, begründet in der Differenz des Kohlensäuregehalts resp. der Kohlensäurespannung in Blut und Lungenluft vor sich gehe. Wir verdanken vorwurfsfreie vergleichende Bestimmungen über die Kohlensäurespannung im Lungenblute und in der Luft der Lungenbläschen Pflüger und seinen Schülern, unter diesen namentlich Nussbaum.

Die Luft in den Gesammthohlräumen der Lunge ist procentisch nicht gleich zusammengesetzt. Die Luft der Lungenbläschen und kapillaren Bronchien, welche direct mit der Quelle der Kohlensäure im Blute communicirt, enthält procentisch mehr Kohlensäure, als die Luft der weiter von dieser Quelle abgelegenen Trachea, der grösseren Bronchien und Bronchialäste.

Der Beweis, dass die Kohlensäureabgabe aus dem Blut in die Lungen lediglich auf einem physikalischen Diffusionsvorgang beruhe, kann nur dadurch geführt werden, dass eine vollkommene Ausgleichung des Kohlensäuredrucks im Lungenblute und in der Luft der Lungenbläschen festgestellt wird.

Pflüger ist es gelungen, indem er, ohne Beeinträchtigung der normalen Gesammtathmung, einen Lungencatheter auf die einfachste Weise luftdicht in einen Bronchialzweig einführte, die Luft aus den Lungenalveolen eines Hundes und gleichzeitig bei demselben Thiere venöses Blut aus dem rechten Herzen zu entziehen. Nussbaum's Bestimmungen ergaben hierbei, dass unter dieser Versuchsanordnung wirklich die Kohlensäurespannung in der Luft der Lungenbläschen identisch gefunden wird mit der in dem Blute, welches das rechte Herz den Lungen zuführt; der Procentwerth stellt sich bei beiden auf 3.8 mm, eine Atmosphäre. Diese Versuche ergeben also die theoretisch postulirte vollkommene Ausgleichung der Spannung der Kohlensäure des Blutes mit der der Lungenluft, wie sie die Gesetze der einfachen Diffusion verlangen.

Vierordt hatte gefunden, dass bei längerer Zurückhaltung der Luft in den Lungen der Kohlensäuregehalt derselben steige und zwar, wie man zunächst glaubte, bis zur Höhe der Kohlensäurespannung in den Lungenkapillaren. Ludwig und Becher suchten im Anschluss

an diese Versuche den Werth der Kohlensäurespannung in den Lungenkapillaren des Menschen durch willkürliches Zurückhalten der Athemluft in den Lungen, bis sich in der ganzen Luft der Lunge und im Lungenblute der Kohlensäuredruck ausgeglichen hatte, zu bestimmen. Es schien, als wäre unter diesen Umständen nur die Kohlensäuremenge dieser Luft zu messen, um den gewünschten Werth der normalen Kohlensäurespannung im Lungenblute zu erhalten. Die Kohlensäurespannung der in den Lungen zurückgehaltenen Luft zeigte jedoch auffällige Differenzen: von 3,9—8,5 $^0/_0$, welche sich aus störenden Einwirkungen der Athembehinderung theils auf die Kohlensäureabgabe aus dem Blute, wodurch eine anormale Steigerung der Kohlensäurespannung in demselben entsteht, theils wahrscheinlich auch auf die Kohlensäurebildung selbst erklären.

Nach den Experimenten LUDWIG's mit BECHER, HOLMGREN, SCHÖFFER, SCZELKOW u. A. hielt man bisher im Gegensatz gegen die Darstellung PFLÜGER's ziemlich allgemein eine aktive Austreibung der Kohlensäure in der Lunge für bewiesen. Nach LUDWIG wäre der Kohlensäuredruck in der Alveolenluft gewöhnlich so bedeutend, dass das venöse Blut kaum Kohlensäure an dasselbe abgeben könnte, wenn diese Abgabe auf den Gehalt des Blutes auf einfach diffundirte Kohlensäure beschränkt bliebe. Man müsste annehmen, dass in dem Lungenkapillarblute die Kohlensäurespannung momentan gesteigert wird, so dass sie die Spannung in der Alveolenluft übertrifft, welche letztere dann Kohlensäure nach den Gesetzen der Diffusion aufnehmen könnte. Mit SCHÖFFER und SCZELKOW fand LUDWIG, dass das Blut nach dem Durchtritt durch die Lungen an festgebundener Kohlensäure ärmer sei als das venöse. Man hat bei diesem postulirten Austreibungsvorgang an die oben erwähnte Säurebildung im Gewebe der Lunge gedacht. Nach den Untersuchungen LUDWIG's und seiner Schüler wäre es wahrscheinlich, dass die Blutkörperchen unter Mitwirkung des Sauerstoffs sich an der Kohlensäureaustreibung betheiligen. Man schwankte, ob man diese austreibende Wirkung dem Oxyhaemoglobin (PREYER) oder den aus der Zersetzung desselben oder der Blutkörperchen entstehenden Säuren oder anderen Ursachen zuschreiben sollte. Dass Blut an einen mit Sauerstoff gefüllten Raum mehr Kohlensäure abgibt als an das Vacuum, hat LUDWIG mit HOLMGREN gezeigt.

Lebensalter und Athmung. — C. LUDWIG hat aus den Beobachtungen von ANDRAL, GAVARRET, SCHARLING, VALENTIN und VIERORDT eine Reihe zusammengestellt, welche, freilich ohne Berücksichtigung der Nahrung und wechselnden Thätigkeit der Organe, eine Abhängigkeit der stündlichen Kohlensäureausscheidung von dem Alter zeigt. Die Tabelle lehrt, dass bei dem Manne mit zunehmender Körperentwickelung auch die stündlich ausgegebene Menge von Kohlensäure zunimmt, mit der Abnahme der Körperkräfte im höheren Alter sinkt auch die betreffende Abgabe wieder. Dasselbe Gesetz, aber weniger deutlich, ergibt sich auch aus den Beobachtungen der genannten Autoren an Frauen. In der Tabelle, die sich nur auf männliches Geschlecht bezieht, ist die Kohlensäure auf Kohlenstoff berechnet.

Alter:					
Alter:	8—14 Jahre	C in Gramm	7,2	pr. 1 hor.	ANDRAL, GAVARRET
-	-	- - - -	6,4	- - -	SCHARLING
-	15—25	- - - -	10,7	- - -	ANDRAL, GAVARRET
-	-	- - - -	10,8	- - -	SCHARLING
-	26—50	- - - -	11,0	- - -	ANDRAL, GAVARRET
-	-	- - - -	11,4	- - -	SCHARLING
-	-	- - - -	10,7	- - -	VALENTIN
-	-	- - - -	8,0	- - -	VIERORDT
-	51—60	- - - -	11,0	- - -	ANDRAL, GAVARRET
-	61—70	- - - -	10,2	- - -	-
-	71—80	- - - -	6,0	- - -	-
-	81—102	- - - -	7,3	- - -	-

REGNAULT und REISET fanden, dass junge Thiere derselben Art eine grössere Sauerstoffaufnahme zeigen als alte, ebenso gesunde magere eine grössere als sehr fette Indi-

viduen. Auf gleiches Körpergewicht berechnet nehmen kleinere Individuen derselben Art mehr Sauerstoff auf als grössere.

Nahrung und Athmung. — Nach meinen an mir selbst angestellten Beobachtungen ist die stündliche gesammte Kohlensäure- oder Kohlenstoffausscheidung durch Lungen und Haut bei demselben jugendlichen Individuum (24 Jahre) sehr schwankend. Im Hungerzustande wurden in einer Stunde gefunden 7,5 Gramm, bei normaler Nahrung 9,0 Gramm, bei möglichst gesteigerter Nahrungsaufnahme 10,52 Gramm. Das Körpergewicht des Versuchsindividuums war im Durchschnitt 72 Kilogramm.

Nahrung:						
Hunger	CO_2 662,9	=	C 180,8 pr. 24 hor.	C	7,5	pr. 1 hor.
-	- 663,5	=	- 180,9 - - -	-	7,5	- - -
stickstofflose Nahrung	- 735,2	=	- 200,5 - - -	-	8,5	- - -
gemischte Kost	- 759,5	=	- 207,0 - - -	-	8,6	- - -
- -	- 791,1	=	- 215,7 - - -	-	9,0	- - -
4 Pfd. Fleisch	- 847,5	=	- 231,1 - - -	-	9,6	- - -
möglichst grosse Nahrungsmenge	- 925,6	=	- 252,4 - - -	-	10,5	- - -

Temperatureinflüsse auf die Athmung. — I. Veränderung der Aussentemperatur ohne wesentliche Aenderung der Körperwärme. Erfolgt bei warmblütigen, nicht winterschlafenden animalen Wesen eine Steigerung des Wärmeabflusses aus dem Körper, z. B. durch eine Erniedrigung der äusseren Temperatur, ohne dass ihre Körpertemperatur dadurch wesentlich verändert wird, so zeigt sich der Athmungsvorgang in allen Beziehungen gesteigert: die Respirationsbewegungen werden beschleunigt und verstärkt, die Athemzüge werden vertieft und beschleunigt, dabei wird in der Zeiteinheit mehr Sauerstoff aufgenommen und mehr Kohlensäure abgegeben. Es beweist das eine allgemeine Steigerung der wärmeproducirenden Processe im Körper unter den gegebenen Bedingungen. Das Verhältniss kehrt sich um bei einer Verminderung des Wärmeabflusses aus dem Körper. Schon am Ende des vorigen Jahrhunderts beobachtete an Meerschweinchen Ad. Crawford die Steigerung der Sauerstoffaufnahme bei Erniedrigung der äusseren Temperatur. Lavoisier und Seguin, Delaroche, Sanders-Eza, Vierordt, Letellier, C. G. Lehmann erweiterten dieses Resultat, indem sie auch die gleichzeitige Steigerung der Kohlensäureabgabe constatirten. Die Beobachtungen, theilweise mit ziemlich ungenügenden Versuchsvorrichtungen gewonnen, waren jedoch nicht eindeutig genug, so dass sie die vielvertretene Meinung, dass die Konstanterhaltung der Körpertemperatur der Warmblüter unter Einwirkung verschiedener äusserer Temperaturen nicht in einer Veränderung der Wärmeproduktion, sondern lediglich in einem je nach der verschiedenen Wirkung der die Wärmeabgabe der animalen Wesen regulirenden Momente (cf. unten: animale Wärme), verschieden grossen Wärmeabfluss begründet sei, nicht zum Verstummen bringen konnten. Auch gegen die neuerdings versuchten experimentellen Beweise einer quantitativen Veränderung der Wärmeproduktion (Hoppe-Seyler, Liebermeister u. A.), und gegen neuere, mit den älteren übereinstimmende Bestimmungen der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe unter dem Wechsel der äusseren Temperatureinflüsse (Gildemeister, L. Lehmann, Speck) konnte diese Meinung noch festgehalten werden (Senator). Erst die oben S. 229 dargestellten Versuchsergebnisse Pflüger's mit seinen Schülern Colasanti und Finkler, an welche sich die auf längere Beobachtungsperioden fussenden Resultate, welche Dr. med. Herzog Karl Theodor in Bayern und später Voit gewannen, anschlossen, haben mit voller Sicherheit erwiesen, dass, neben den wichtigen regulirenden Einrichtungen für den Wärmeabfluss, bei Veränderungen der äusseren Temperatur auch jene einleitend erwähnte, correspondirende Veränderung in der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäurebildung, und damit auch in der Wärmebildung eintrete. Die unter Pflüger's Leitung an Meerschweinchen angestellten Versuche hatten folgende Hauptergebnisse, Mittelwerthe in cc berechnet auf 1 Kilogramm Thier und 1 Stunde:

	mittlere Temperaturdifferenzen während der Versuche:					
	I. 16,9°—7,03°		II. 21,3°—7,8°		III. 26,21—3,64°	
aufgenommener Sauerstoff . . .	1086,8	1496,66	1134,3	1643,4	1118,5	1856,5
ausgeschiedene Kohlensäure . .	937,01	1202,44	992,8	1457,1	1057,4	1554,8
Verhältniss des Sauerstoffs in der Kohlensäure zum aufgenommenen Sauerstoff	0,86	0,80	0,88	0,88	0,94	0,83

Die Versuchsreihen I. und II. (je 10 Versuche) sind von COLASANTI im Sommer, die Reihe III. (21 Versuche) von FINKLER im Winter angestellt; bei letzteren betrug für je 1° Temperaturabnahme die Vermehrung des aufgenommenen Sauerstoffs 32,1, die der ausgeschiedenen Kohlensäure 20,2 cc. Die individuellen Verschiedenheiten, welche alle Thiere zeigten, verdeckten nicht das Resultat, dass unter sonst möglichst gleichen Bedingungen die Sauerstoffaufnahme im Winter eine beträchtlich stärkere ist, als im Sommer (+ 23 %).

Aus den auch den Gesammtstoffwechsel berücksichtigenden 22, je 6 Stunden dauernden Versuchen von Dr. med. HERZOG CARL THEODOR in Bayern, welche an einer Katze mit einem kleinen, dem PETTENKOFER'schen nachgebildeten, Respirationsapparat im Laboratorium VOIT's ausgeführt wurden, berechnen wir folgende Mittelwerthe in Gramm für das Gesammtthier in je 6 Stunden ohne weitere Reduktion:

	Mitteltemperatur ° C.:			
	I. —3,0° bis —5,5°	II. +0,2° bis 5,0°	III. +12,3° bis 19,8°	IV. +20,1° bis 30,8°
aufgenommener Sauerstoff	19.41	17,84	15,46	12,84
ausgeschiedene Kohlensäure	20,40	19,20	16,24	13,40
gleichzeitige Abnahme des Körpergewichts	12,30	12,80	15,90	16,40

Mit dem grossen PETTENKOFER'schen Respirationsapparat stellte C. VOIT 9, ebenfalls je 6 Stunden dauernde Versuche an einem 71 Kilogramm schweren Menschen an bei möglichster, gleichbleibender Körperruhe; in Gramm finden wir folgende Mittelwerthe ohne weitere Reduktion:

	Mitteltemperatur ° C.:		
	I. +4,4° bis 9,0°	II. +14,3° bis 23,7°	III. +23,7° bis 30,0°
ausgeschiedene Kohlensäure	203,00	156,6	165,5
ausgeschiedener Harnstoff .	4,16	3,91	3,57

Auch diese Versuche am Menschen, bei denen sich im Einzelnen die aus vorausgehenden verschiedenen Ernährungs- und Arbeitseinflüssen resultirenden Stoffwechselverschiedenheiten stärker störend geltend machten, bestätigten die gleichzeitige Steigerung des Gesammtstoffumsatzes, welche die Versuche an der Katze (HERZOG KARL THEODOR) vollkommen klar ergeben hatten. VOIT's Versuche ergeben bei dem Menschen auch bei Steigerung der äusseren Temperatur über 23,7° eine geringe Erhöhung des respiratorischen Gaswechsels.

Je grösser der Wärmeverlust ist, welchen ein Mensch oder ein warmblütiges Thier ohne (wesentliche) Aenderung seiner Eigentemperatur erfährt, um so grösser zeigt sich sein Gesammtstoffwechsel: Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe, Harnstoffausscheidung und gesammter Stoffverlust. Erniedrigung der Aussentemperatur bedingt unter diesen Verhältnissen gesteigerte Wärmebildung des Organismus etc. Diese Regulirung des Stoffverbrauchs bei verschiedener Temperatur erfolgt unter nervösen Einflüssen (PFLÜGER).

II. Veränderung der Körpertemperatur in ihrem Einfluss auf Athmung und Gesammtstoffwechsel. — Auch über diese, für Physiologie und Pathologie (Fieberlehre) gleich wichtige Frage verdanken wir PFLÜGER und seinem Schüler HUGO SCHULZ

die grundlegenden Beobachtungen, deren Hauptresultate wir oben (S. 229, Ernährungsversuche II. Gruppe) mitgetheilt haben: mit Zunahme der Körpertemperatur steigt bei Kaltblütern, Fröschen, in sehr regelmässiger Progression der Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäureabgabe (d. h. der Gesammtstoffwechsel). Bei Warmblütern waren die Resultate bisher meist weniger eindeutig, da es hier bei der energischen Wirkung der die Körperwärmeregulirung besorgenden Momente schwerer hält, jene die Oxydationsprocesse des Körpers erhöhende Wirkung der gesteigerten Wärmeabgabe, mittelst welcher man den Körper zu erkälten sucht, von der vermindernden Wirkung der herabgesetzten Körpertemperatur e. v. v. zu trennen. Nach den Experimentalergebnissen Pflüger's wächst aber auch bei den Warmblütern der Oxydationsprocess proportional der Temperatur der Organe, wenn die regulirenden Momente der Wärmeabgabe ausser Thätigkeit gesetzt wurden. Eine Verminderung der Sauerstoffeinnahme und Kohlensäureausgabe bei Körpererkältung e. v. v. haben für Warmblüter zuerst die Beobachtungen an Winterschläfern oder wechselwarmen Thieren ergeben (cf. unten bei Thierische Wärme). Im Winterschlaf, wobei die Körpertemperatur herabgesetzt ist, zeigt sich eine sehr bedeutende Verminderung der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe in der Respiration, beide steigen, sowie mit dem Erwachen des Thieres die Körpertemperatur sich erhebt. Sinkt die Körpertemperatur nicht-winterschlafender Warmblüter unter ca. 28—26 $^0/_0$, so vermag die Wärmeregulirung die Wirkung der Kälte nicht mehr zu compensiren und es erfolgt durch die Abkühlung eine deutliche Abnahme der Oxydationsprocesse (Pflüger). Erhöht man die Körpertemperatur nicht-winterschlafender Warmblüter künstlich, so steigt die Anzahl der Athemzüge und die Menge der in der Zeiteinheit ausgeschiedenen Kohlensäure (L. Lehmann, C. Voit), sowie des Harnstoffs (G. Schleich). Mathieu und Urbain wollen im arteriellen Blute künstlich höher erwärmter Thiere (Hunde bei 43° C. Körpertemperatur) eine sehr beträchtliche Zunahme des Sauerstoffgehalts gefunden haben, gleichzeitig eine Verminderung des Kohlensäuregehalts. Cl. Bernard hat uns gelehrt, durch operative Eingriffe (Durchschneidung des Halsmarks) warmblütige Thiere in einen kaltblütigen Zustand zu versetzen; hierbei fand Erler eine Herabsetzung der Kohlensäureabgabe. Dasselbe ergaben seine Versuche an »gefirnissten« Thieren, die sich ebenfalls abkühlen. Nach Pflüger wird durch Halsmarkdurchschneidung der ganze Oxydationsprocess wesentlich herabgesetzt, die Sauerstoffaufnahme, wie die Kohlensäureabgabe vermindert. Die Verhältnisse sind in beiden Fällen aber weit complicirter, als bei jenen oben erwähnten Versuchen Pflüger's bei Kaltblütern, bei welchen in Folge der Wärmeentziehung oder Wärmezufuhr für längere Zeit ein konstanter Zustand, Beharrungszustand, erhöhter oder verminderter Körpertemperatur erzielt wurde. Vor Allem spielt hier eine sensible und motorische Lähmung mit.

Die Wirkung gesteigerter oder verringerter Muskelarbeit auf die respiratorischen Funktionen hat im Vorstehenden (cf. auch S. 231) mehrfache Besprechung gefunden. Wir erinnern daran, dass bei Muskelarbeit die Körpertemperatur des arbeitenden Organismus steigt. Lavoisier hat zuerst die bei gesteigerter Muskelthätigkeit eintretende Erhöhung der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe nachgewiesen. Vierordt, Speck, Pettenkofer u. Voit u. A. haben das für den Menschen bestätigt. Sczelkow hat im Laboratorium Ludwig's Untersuchungen über den Gasgehalt des Blutes ruhender und tetanisirter Muskeln von Kaninchen angestellt, er fand eine Steigerung der Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe des Muskels im Tetanus, den Versuchen über Gesammtathmung bei Ruhe und Muskelbewegung conform; hierbei stieg die Kohlensäureabgabe bedeutender, als die Aufnahme von Sauerstoff. Man hat daraus schliessen wollen, dass bei oder zum Zweck der Muskelarbeit vorwiegend Kohlehydrate im Muskel in Kohlensäure und Wasser zersetzt werden. Das Sauerstoffverhältniss, der respiratorische Quotient (Pflüger), stellt sich nämlich bei vollkommener Zersetzung von Eiweiss zu den Ausscheidungsprodukten auf 83, für Fett auf 73, für Kohlehydrate auf 100 (C. Voit). Die oben erwähnten, je 24 Stunden währenden Versuche von Pettenkofer und Voit bestätigen diese Annahme keineswegs. Auch bei diesen steigt zwar an den Arbeitstagen das Sauerstoffver-

hältniss etwas gegen 1 zu an; aus den Versuchen bei Körperruhe und verschiedenen Ernährungsweisen ergibt sich aber, dass das Sauerstoffverhältniss bei Muskelarbeit sich dem bei einer reichlichen Zersetzung von Eiweiss im Körper, d. h. bei eiweissreicher Kost, mehr annähert, und sich von dem bei reichlicher Zersetzung von Kohlehydraten mehr entfernt. Das Sauerstoffverhältniss ist bei Arbeit von dem bei gemischter Kost wenig verschieden. Folgende kleine Tabelle gibt für die schon S. 532 nach anderer Richtung dargestellten Versuche die quantitativen Verhältnisse der Sauerstoffaufnahme und -Abgabe während 24 Stunden, darunter 8 Arbeitsstunden, für die beobachteten Menschen ohne weitere Reduktionen:

Verhältniss des Sauerstoffs in der ausgeschiedenen CO_2 zum aufgenommenen Sauerstoff

I. Hungerzustand.	Ruhe:	0,68	Gramm
	Muskelarbeit:	0,80	-
II. Mittlere Kost.	1. Ruhe:	0,94	-
	Muskelarbeit:	0,98	-
	2. Ruhe:	0,78	-
	Muskelarbeit:	0,82	-
III. Gemischte Kost.	Ruhe:	0,84	-
IV. Eiweissreiche Kost.	1. Ruhe:	0,90	-
	2. Ruhe:	0,86	-
V. Stickstofffreie Kost.	Ruhe:	0,75	-

bei Arbeit im Mittel	0,866	Gramm
bei Ruhe bei mittlerer und gemischter Kost im Mittel	0,853 — 0,013	-
bei Ruhe bei eiweissreicher Kost im Mittel . . .	0,870 + 0,004	-
bei Ruhe bei eiweissfreier Kost	0,750 — 0,116	-

Diese Ergebnisse scheinen sonach für eine ziemlich gleichmässige Betheiligung aller Organstoffe, auch des Eiweisses, an den Zersetzungsvorgängen im tetanisirten Muskel zu sprechen.

Wie innig die Wärmeproduktion und Wärmeregulirung, sowie die Oxydation von der Ruhe oder Thätigkeit der Muskeln abhängt, geht auch aus den Versuchen an gelähmten Menschen und Thieren hervor. Lähmung der Muskulatur durch Curare oder Durchschneidung des Halsmarks setzt die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe, d. h. die Oxydationen wesentlich herab (Pflüger). Voit's Versuche an einem durch Wirbelfraktur Gelähmten bestätigen dieses Resultat auch für den Menschen.

Die Beobachtungen von C. Schmidt, Pettenkofer u. Voit ergaben, dass am **Tage** stets mehr Kohlensäure ausgeschieden wird, als bei **Nacht**. Es bezieht sich das auf die am Tage im Allgemeinen gesteigerte Lebensthätigkeit, vor Allem die Muskelarbeit, nicht auf die Veränderung der Respirationsthätigkeit. Im Schlaf ist das Athmen stets weniger häufig, meist tiefer.

Die älteren Versuche, welche über die Einwirkung des **Lichts** auf die Athmung an geblendeten und sehenden Thieren angestellt wurden (Moleschott u. A.), haben, weil die Thiere im Licht mehr Muskelbewegungen ausführen, ebenfalls eine Steigerung der Kohlensäureabgabe durch das Licht ergeben. Doch scheint nach den neuen Versuchen von Pflüger mit v. Platen, bei denen wachen Kaninchen die Augen bald mit durchsichtigen, bald mit undurchsichtigen Glasdeckeln bedeckt werden, doch das Licht an sich, d. h. die sensible Retinareizung, entsprechend der Wirkung anderer sensibler Reizungen, eine steigernde Einwirkung auf die Kohlensäureabgabe und Sauerstoffaufnahme zu haben. Sie fanden im Mittel:

Sauerstoffaufnahme im Dunkeln = 100 gesetzt, im Licht = 116
Kohlensäureabgabe - - = 100 - - - = 114

Resultate, mit denen die neuesten Ergebnisse Moleschott's und S. Fubini übereinstimmen.

Zu beachten ist bei Beurtheilung der Lichtwirkung auf die Athmung, dass dem Licht ausgesetzte Theile eines Frosches eine grössere Empfindlicheit zeigen, als beschattete (Setschenow und Wedenski).

Chemie der Athmung im Fieber. — Durch die Untersuchungen Liebermeister's an fiebernden Menschen (Intermittens) ist sicher gestellt, dass, analog der im Fieber eintretenden Steigerung der Harnstoffausscheidung, bei fiebernden Menschen die Kohlensäureausscheidung sehr beträchtlich erhoht ist. Damit ist der Beweis geliefert, dass sich die erhöhte Fiebertemperatur nicht nur aus der Verminderung des Wärmeabflusses, sondern auch aus einer gesteigerten Wärmebildung erklärt. Bei Intermittens steigt, etwa bis zur 3. Stunde, die Kohlensäureabgabe mit der zunehmenden Korpertemperatur, später sinkt die Ausscheidung wieder etwas, trotzdem dass die Wärme hoch bleibt. In Gramm fand Liebermeister in je zweistündigen Versuchsperioden Kohlensäure:

	Frost- und Hitzestadium:	Schweissstadium:	Apyrexie:
I.	77,6	73,5	58,6—63,9
II.	69,3	56,9	53,7—58,8

An Hunden beobachteten Leyden und Fränkel die Steigerung der Kohlensäureabgabe bei Fieber nach Eiterinjection in den Muskel. An einem fiebernden, hungernden Meerschweinchen untersuchte Pflüger mit Colasanti auch die Sauerstoffaufnahme. Sie fanden in cc, bei 0° und 0,76 m Druck folgende Werthe für beide Gase auf 1 Kilogramm Thier und 1 Stunde gerechnet:

	Sauerstoffaufnahme:	Kohlensäureabgabe:	Temperatur im Rektum:	Temperatur in der Luft:
fieberfrei: . . .	948,17	872,06	37,1° C.	18,7° C.
fiebernd:	1137,30	949,50	38,5° C.	17,5° C.
stärker fiebernd: .	1242,60	1201,59	39,7° C.	15,9° C.

In den Fieberversuchen war die äussere Temperatur etwas (im Maximum etwa 3° C.) niedriger, als während des fieberfreien Zustandes. Da aber nach Pflüger und Colasanti die Zunahme der Sauerstoffaufnahme für 1° Temperaturabnahme nur 32,1 cc, die der Kohlensäureabgabe 20,2 cc beträgt, so ist trotzdem die durch das Fieber bedingte Steigerung beider vollkommen deutlich.

Blutkörperchen und Sauerstoffaufnahme. Weitere Luftveränderungen bei der Athmung.

Obwohl die Sauerstoffaufnahme in den Lungen ein vorwiegend chemischer Vorgang ist, so sehen wir doch eine Reihe von anderweitigen Bedingungen auf sie Einfluss ausüben. Vor Allem sehen wir, dass der Procentgehalt der Luft an Sauerstoff nicht unter ein bestimmtes Minimum sinken darf, ohne dass Athemnoth oder Erstickung eintritt. Nach W. Müller sterben Kaninchen rasch in einer Luft, welche nur 3% Sauerstoff enthält; bei 4,5% ist die Athmung schwer, bei 7,5% immer noch tiefer als normal; erst bei 14,8% sind die Bewegungen der Athmung ganz regelmässig. Da bei dem Menschen der Sauerstoffgehalt in der Ausathmungsluft zwischen 14 und 18% schwankt, so genügt dieselbe Luft also noch weiter zur normalen Erhaltung des Athmens. Durch Athmen (Ersticken) im abgeschlossenen Luftraum wird schliesslich der Sauerstoff desselben fast gänzlich verzehrt.

Da die Aufnahmsfähigkeit des Blutes für Sauerstoff zunächst von der Menge der Blutkörperchen, d. h. von dem Haemoglobin derselben abhängig ist, so zeigt sich der Gehalt des arteriellen Blutes an Sauerstoff dem Haemoglobingehalte desselben proportional und schwankt bei verschiedenen Individuen mit dem letzteren auf- und abwärts. Normal ist das Arterienblut stets zu etwa $^9/_{10}$ mit

Sauerstoff gesättigt (Pflüger), bei Apnoe ist die Sättigung eine fast oder wirklich vollkommene. Neben der Zahl und Grösse der Blutkörperchen ist auch die Geschwindigkeit des Blutstromes in den Lungen von Einfluss auf den Mechanismus der Sauerstoffaufnahme; mit der grösseren Zahl der in der Zeiteinheit die Lungenkapillaren passirenden Blutkörperchen wächst die Absorptionsfläche für Sauerstoff. Das Volum des einzelnen Blutkörperchens von mittlerer Grösse bestimmte Welcker, indem er aus Gyps nach den Verhältnissen der Blutkörperchengrösse gefertigte Schemata benutzte, zu 0,000000072217 Cb.-mm. Da 1 Cb.-mm Blut 5 Millionen Blutkörperchen enthält, erreicht deren Gesammtvolum 0,36 Cb.-mm, für das Plasma bleibt 0,64 Cb.-mm. Nach Welcker ist die Oberfläche des schüsselförmigen Körperchens etwas kleiner, als die eines Cylinders von gleicher Höhe und Breite. Sie ergab sich durch Belegung des Modells mit Papier und Wägung des letzteren für ein Blutkörperchen zu 0,000128 □mm. Ein Cubikmillimeter Blut (5 Millionen Blutkörperchen) hat also beim Menschen eine Blutkörperchenoberfläche von 640 □mm (beim Frosch 220 □mm). Das Gesammtblut des Menschen zu 4400 Cb.-cm angenommen, gibt eine Blutkörperchenoberfläche von 2816 □m, d. h. eine Quadratfläche von 80 Schritt Seitenlänge. Werden in jeder Secunde 176 Cb.-cm Blut in die Lungen getrieben, so repräsentirt die Oberfläche der darin enthaltenen Blutkörperchen eine Quadratebene von 87 □m = 13 Schritt Seitenlänge. Zu diesen bedeutenden Grössen kommt noch die Ausdehnung der Lungenoberfläche. Huschke berechnet die Zahl der Lungenbläschen auf 1800 Millionen, ihre Fläche zu beinahe 200 □m. Durch die Einathmung werden die Lungenbläschen ausgedehnt, ihre nach Krause nur 0,013 bis 0,022 mm dicke Wand noch verdünnt, die Widerstände gegen das Ein- und Austreten der Gase dadurch vermindert (cf. S. 30). Die gleichzeitige Vermehrung der Widerstände in den durch Dehnung verengerten und verlängerten Kapillaren wird die Blutkörperchen länger in der Sauerstoffberührung zurückhalten, also auch reicher mit Sauerstoff sättigen. Im gesteigerten Maasse wirken in diesem Sinne bei Athemnoth die vertieften Athembewegungen, gesteigerte Lungenventilation.

Die Blutkörperchen können, wie es scheint, auch in ihrem Sauerstoffabsorptionsvermögen Schwankungen erleiden. Manche narkotische Stoffe: Morphin, Strychnin, Alkohol sollen die Absorptionsfähigkeit herabsetzen, vielleicht dürfen wir das auch für andere in der Nahrung aufgenommene Stoffe: Fette, Zucker annehmen; Kohlenoxydgas setzt die Absorptionsmöglichkeit am bedeutendsten herab (Harley, Bernard, Hoppe).

Der eigentliche Sauerstoffkonsument ist die Zelle, das Gewebe (Pflüger). Verbraucht der Organismus durch Steigerung der Lebensthätigkeit eines oder mehrerer seiner Organe mehr Sauerstoff, so wird in den Lungen mehr Sauerstoff aufgenommen, indem zunächst die Athmung vertieft und beschleunigt wird, so dass trotz des Mehrverbrauchs der Sauerstoffgehalt des arteriellen Blutes der normale bleibt. Die physikalischen und chemischen Momente für Steigerung und Herabsetzung von Sauerstoffaufnahme in den Lungen sind bei gleichbleibendem Sauerstoffverbrauch des Organismus nur von untergeordneter Bedeutung, erst bei relativer Verarmung des arteriellen Blutes an Sauerstoff durch Mehrverbrauch desselben in der Zeiteinheit treten sie in gesteigerte Wirksamkeit.

Die von Wasserdampf befreite ausgeathmete Luft, obwohl sie Stoffe abgegeben und dafür andere eingenommen hat, zeigt ihr Volum im Allgemeinen nur wenig verschieden von dem der eingeathmeten Luft. Daraus geht hervor, dass die Volumina des aufgenommenen Sauerstoffes und der abgegebenen Kohlensäure nahezu gleich sein müssen (cf. S. 536, Kohlensäure-sauerstoffverhältniss, respiratorischer Quotient Pflüger's). (Die Kohlensäure enthält ein ihr gleiches Volumen Sauerstoff.) Da bei der inneren Athmung der grösste Theil des Sauerstoffs zur Oxydation von Kohlenstoff verwendet wird, so überrascht diese Beobachtung nicht. Wir müssen schon von vorn herein voraussetzen, dass das in 24 Stunden ausgeathmete Luftvolum stets im ganzen etwas kleiner sein muss, als das eingeathmete, da ja der Sauerstoff auch noch neben der Kohlensäurebildung zur Oxydation von Wasserstoff, Stickstoff, Schwefel, Phosphor verwendet wird, deren Oxydationsprodukte theilweise nicht in der Athmung wieder erscheinen. Das Experiment lässt wirklich eine solche Verminderung des Volumens etwa um 1% ziemlich regelmässig erkennen. Am kleinsten ist dasselbe nach Regnault und Reiset bei einer Nahrung mit Kohlehydraten, die für Oxydation des Wasserstoffs schon genügend Sauerstoff in ihrer Zusammensetzung enthalten; nach Regnault und Reiset kann (bei Körnerfütterung) sogar mehr Sauerstoff in der Kohlensäure der Exspiration erscheinen, als aus der inspirirten Luft Sauerstoff verschwand; am stärksten ist es bei Fleischkost und zwar 0,62—0,80 nach Regnault und Reiset. Die Classe der Thiere scheint hierbei viel geringeren Einfluss auszuüben, als die Qualität der Nahrung. Bei Hunger kann das Verhältniss noch etwas niedriger ausfallen, als bei Fleischnahrung. Auf 100 aufgenommenen Sauerstoff scheidet der Mensch nach Pettenkofer und Voit in 24 hor. zwischen 69 und 98 Sauerstoff in der Kohlensäure aus (S. 537). Merkwürdig ist die Beobachtung, dass winterschlafende Thiere unter Umständen Sauerstoff in sich zurückhalten (Valentin) und dadurch schwerer werden können; Zurückhalten von O sollte sich im Schlafe nach Pettenkofer und Voit auch am Menschen zeigen, was sich jedoch in neueren Versuchen als Täuschung herausgestellt hat (C. Voit).

Die Aufnahme und Abgabe von **Stickstoff** durch das Blut ist (im Wesentlichen) nur vom Luftdruck abhängig. Steigt der Luftdruck und damit der Stickstoffdruck in der Luft, in welcher geathmet wird, so nimmt, den physikalischen Absorptionsbedingungen des Blutes entsprechend, welche sich von denen des Wassers wenig unterscheiden, das Blut entsprechend mehr Stickstoff auf; umgekehrt gibt das Blut bei vermindertem Stickstoffdruck der geathmeten Luft entsprechend Stickstoff ab. Analog wirken Temperaturdifferenzen. Nach den Beobachtungen von Regnault und Reiset geben die Thiere stets geringe Mengen (aus dem Stoffwechsel stammenden?) Stickstoffs ab, meist weniger als $^1/_{100}$ des während derselben Zeit aufgenommenen Sauerstoffs. Während und nach dem Hungerzustande, vielleicht auch in Krankheitszuständen nehmen dagegen namentlich Vögel Stickstoff auf. Seegen und Nowak geben ebenfalls Stickstoffausscheidung bei Hunden an. Pettenkofer, Voit u. A. nehmen an, dass diese Stickstoffabgabe und -Aufnahme lediglich aus Versuchsfehlern sich erkläre (cf. oben Stickstoffgleichgewicht S. 206).

Warmblütige Thiere scheiden durch die Perspiration nach Regnault und Reiset auch Spuren von Ammoniak und Schwefelwasserstoff, in grösseren Mengen Kohlenwasserstoff (CH_4) und freien Wasserstoff aus.

Die ausgeathmete Luft hat stets ziemlich genau die **Temperatur** des Körpers, indem sie in der Lunge ihre Wärme mit der des Blutes ausgeglichen hat. Nur wenn die Temperatur der eingeathmeten Luft sehr niedrig wird, ist diese Ausgleichung keine vollkommene. Valentin fand die Wärme der Lungenluft: bei — 6,3° C. + 29,8° C., bei + 19,5° C. + 37,25° C., bei + 41,9° C. + 38,1° C.

Die in die Lungen meist kälter und trockener eingeathmete Luft wird dort mit **Wasserdampf** fast vollkommen gesättigt (Valentin). Bei sehr raschen Athemzugen tritt keine vollständige Sättigung ein. Die Menge des ausgeschiedenen Wassers wird geringer, wenn die Zahl der Athemzüge steigt. Es rührt das sicher daher, dass die häufigeren Athemzüge weniger tief waren, so dass hier dasselbe Verhältniss stattfindet, wie bei der Kohlensäureabgabe, deren Ausscheidung auch, wie angegeben, durch häufigere, flachere Athemzüge

procentisch vermindert wird (S. 530). Die Gesammtwassermenge, welche den Organismus durch die Athmung (Haut- und Lungenathmung) während 24 Stunden verlässt, schwankt zwischen sehr weiten Grenzen. Sie beträgt beim Manne in der Ruhe etwas weniger als 1000 Gramm. Bei Nacht im Bett ist sie aber manchmal bedeutender als am Tage. Bei Arbeit ist sie um das Doppelte, ja Dreifache grösser als bei Ruhe. Pettenkofer und Voit fanden für den Menschen bei Ruhe und Arbeit und verschiedener Ernährung (cf. oben Tabelle S. 534 u. 537) folgende Werthe für die Wasserausscheidung:

I. Hungerzustand.	Ruhe:	814	Gramm Wasser in 24 Stunden ausgeschieden
	Muskelarbeit:	1777	- - - - - -
II. Mittlere Kost.	1. Ruhe:	828	- - - - - -
	Muskelarbeit:	2042	- - - - - -
	2. Ruhe:	957	- - - - - -
	Muskelarbeit:	1412	- - - - - -
III. Eiweissreiche Kost.	1. Ruhe:	1110	- - - - - -
	2. Ruhe:	1207	- - - - - -
IV. Stickstofffreie Kost.	Ruhe:	925	- - - - - -

Obwohl die Kohlensäure ein Gift für den animalen Organismus ist, so bewirkt doch eine Erhöhung des Kohlensäuregehalts der geathmeten Luft bis etwa zu 4 Vol.-pCt. und sogar noch etwas mehr keine bald erkennbaren sächlichen Einwirkungen auf das Leben. Nach Dohmen's unter Pflüger's Leitung ausgeführten Versuchen bewirkt ein grösserer Gehalt der Luft an Kohlensäure, wenigstens während der ersten Minuten ihrer Einathmung, eine Zunahme in der Tiefe der Athemzüge und Abnahme ihrer Frequenz. Bei weiterer Erhöhung treten beim Menschen Zittern, Aufregung, Kopfschmerz ein, schliesslich der Tod. Der letztere erfolgt durch directe Einwirkung der Kohlensäure, nicht aus Sauerstoffmangel (W. Müller), doch kann die tödtliche Wirkung der Kohlensäure durch reichliche Anwesenheit von Sauerstoff in der geathmeten Luft längere Zeit hinausgeschoben werden. In Dohmen's, sowie Friedländer's und Herter's Versuchen starben Versuchsthiere, welche ein Gasgemisch aus Sauerstoff und 50—75 oder 62—65% Kohlensäure athmeten, erst nach $^1/_2$—$^3/_4$ Stunden unter einer Art Narkose und Herabsetzung der Athmung; die Muskelkraft ist hierbei bedeutend herabgesetzt (Hoppe-Seyler). Bird hat angegeben, dass ein Gehalt des arteriellen Blutes von 106,7—116,6, des venösen Blutes von 120,4 Vol.-pCt. CO_2 (bei 76 cm Barometerstand) den Tod herbeiführe. Nach seinen Beobachtungen schienen kaltblütige Thiere: Schlangen, Eidechsen, Frösche weit empfindlicher, als Warmblüter gegen eine Erhöhung des Kohlensäuredrucks in der geathmeten Luft. Friedländer und Herter constatirten dagegen die ältere Bemerkung, dass die Kaltblüter weniger empfindlich auch gegen dieses Gift seien als Warmblüter, von welchen zuerst die Vögel erliegen.

Zur Entwickelungsgeschichte der Athemfunctionen. — Ueber den Bau der Placenta, als Athemorgan des Embryo, und das Verhältniss der embryonalen zu den mütterlichen Placentargefässen cf. oben S. 55 u. 504). Zweifel unterband bei eben geborenen Kindern, ehe sie noch einen Athemzug gethan hatten, die Nabelgefässe und konnte so constatiren, dass, der oben l. c. gegebenen Darstellung des Gasverkehrs des Blutes der Frucht mit dem der Mutter entsprechend, das Blut der Nabelvene heller roth ist und mehr Oxyhaemoglobin enthält, als das der Nabelarterie, in welcher das kindliche Blut der Placenta zuströmt. Bei Erstickung kräftiger Thiere verschwindet auch sehr rasch das Oxyhaemoglobin aus dem Blute des Embryo. Ueber die quantitativen Verhältnisse des Stoffwechsels und der Athmung menschlicher Embryonen hat man noch sehr wenig erfahren. Ihre Sauerstoffaufnahme scheint in früheren Stadien ziemlich gering zu sein; Zunz fand im Blute von Kaninchenembryonen nur 3,6% des Körpergewichts Haemoglobin.

Die Athmung des im Ei sich entwickelnden Hühnchens hat Baumgärtner untersucht. Im ruhenden, sich nicht entwickelnden Ei konnte er keine Athmung nachweisen, diese ist, wenn auch vorhanden, doch sicher nur gering, und spielt sich wesentlich in der

Eiluft selbst ab. Bei Brüttemperatur beginnt rasch eine wahre Athmung mit Sauerstoffaufnahme und Abgabe von Kohlensäure, in ihren quantitativen Verhältnissen bis zum Ausschlüpfen des Hühnchens sehr regelmässig ansteigend. Die Wasserabgabe des Eies bleibt sich dagegen in den verschiedenen Stadien der Bebrutung ziemlich gleich. Hand in Hand mit dieser Athmung geht eine ebenfalls ziemlich gleichmässig steigende Gewichtsabnahme des bebrüteten Eies, an welcher sich die Eierschale nicht betheiligt (Voit, Hermann). Baumgärtner fand, dass die Sauerstoffaufnahme des Eies während 24 Stunden stieg vom 1. Brüttag bis zum 13. langsam und regelmässig von 0,0074 bis 0,0969 = 0,1 Gramm; vom 13. bis 20., dem Tag vor dem Ausschlüpfen, weit rascher bis zu 0,4435 Gramm. Das ausgeschlüpfte Hühnchen nahm am 21. Tage 0,7317 Gramm Sauerstoff auf. Die Kohlensäureabgabe stieg in derselben Weise vom 1. bis 13. Tag von 0,009 bis 0,122 Gramm; vom 13. bis 20. Tag auf 0,560 Gramm. Das ausgeschlüpfte Hühnchen athmete am 21. Tag 1,008 Gramm Kohlensäure aus. Die Wasserabgabe des Eies ist umgekehrt in den ersten beiden Wochen höher, in der 3. sinkt sie; Minimum am 18. Tag 0,050, Maximum am 7. Tag 0,241 Gramm, auf je einen Tag der 1. Woche treffen im Mittel 0,170, der 2. 0,138, der 3. 0,082 Gramm Wasserabgabe.

Pott fand, dass Insektenlarven weniger CO_2 ausscheiden, als die ausgebildeten Thiere; die Puppen scheiden am wenigsten aus.

Zur vergleichenden Pysiologie. — Ueber die Gesammtathmung grösserer Thiere hat Reiset mit einem vergrösserten Regnault'schen Apparat Versuche gemacht, welche mit Ausnahme eines einzigen alle eine grössere oder geringere Stickstoffausscheidung von 0,194 bis 13,036, einmal 93,211 (?) in 24 Stunden ergeben haben (cf. oben S. 540); ebenso CH_4-Abgabe 0,097 bis 2,033 in 1 Stunde; bei zwei Schweinen wurden in der Stunde 0,6128 und 0,1805 freier Wasserstoff bestimmt. Die wichtigsten sonstigen Werthe gibt die folgende Tabelle. Aus der zweiten Zahlenreihe ergibt sich die Menge der ausgeschiedenen CO_2. Mit Ausnahme der drei Schweine, welche während des Versuchs je etwa 3 Kilogramm Runkelrüben erhielten, befanden sich die Thiere im Hungerzustand.

		Sauerstoffaufnahme in 1 Stunde von 1 Kilogramm Thier, Gramm:	Verhältniss des Sauerstoffs in der ausgeathmeten CO_2 zum aufgenommenen Sauerstoff:
Schaf,	6 Jahre alt	0,490	99,40
-	- - -	0,633	100,68
-	- - -	0,464	100,00
Hammel,	4 - -	0,400	97,03
Kalb,	5 Monat -	0,533	86,13
-	9 - -	0,481	86,29
-	- - -	0,428	86,89
Eber,	8 - -	0,469	105,40
-	2 Jahre -	0,391	82,37
Sau,	2 - -	0,561	85,54
4 Gänse		0,677	69,61
2 Truthühner		0,702	77,71

Zahlreiche Versuche an Rindern, Schafen, Ziegen wurden von Henneberg und Stohmann im Hinblick auf agriculturchemische Ernährungstheorien mit einem grossen Pettenkofer'schen Respirationsapparat angestellt, auf deren Resultate wir oben schon z. Thl. zu sprechen kamen. Ebenso haben die Einflüsse des Winterschlafs schon Erwähnung gefunden. Nach Regnault und Reiset nimmt 1 Kilogramm Murmelthier in 1 Stunde Sauerstoff in Gramm auf: wachend und fressend 1,198; wachend und hungernd 0,774; im Winterschlaf 0,0040. Die Steigerung der respiratorischen Functionen zeigt sich wie bei winterschlafenden Säugethieren, so auch bei Kaltblütern (Regnault und Reiset), wenn sie bei Erhöhung der Temperatur aus der durch Kälte erzeugten Erstarrung erwachen. Vögel haben im Verhältniss zum Körpergewicht in der Zeiteinheit die grösste Ausscheidung von CO_2, dann folgen auf das

gleiche Gewicht reducirt Säugethiere und dann Insekten, sodann mit viel geringerer Ausscheidung: Würmer, Amphibien, Fische, Schnecken (Pott). Die oben besprochenen Einflüsse auf die Athmung lehren uns, dass wir in dieser Verschiedenheit z. Thl. dem Einfluss der Körpergrösse der Thiere begegnen. Ebenso wichtig ist nach unseren Auseinandersetzungen die umgebende Wärme und die innere Körpertemperatur. Die Versuche Bütschli's an Blatta orientalis, Küchenschabe, lassen die Kohlensäureabgabe wesentlich von der äusseren Temperatur abhängig erscheinen. 1000 Gramm Thier lieferten in 1 Stunde im Mittel Gramm CO_2 bei 4° C. 0,0739—0,121; bei 15° 0,364; bei 20—26° 0,426; bei 25° 0,537; bei 25°—26° 0,583; bei 31°—35° 0,815—1,286 Gramm. Baumert beobachtete, ohne auf die Gleichhaltung der Temperatur näher zu achten, an Fischen; er fand für 1000 Gramm Thier in 1 Stunde:

	aufgenommenen Sauerstoff:	ausgeschiedene Kohlensäure:
Schleie	1,39—1,76	0,97—1,89
Goldfisch	5,38—9,46	4,28—9,08
Schlammpeizger . .	2,31—9,17	2,43—8,14

Wie wesentlich die Respiration der Fische von der Temperatur bestimmt wird, ergaben die Versuche von Jolyet und Regnard, ebenfalls am Goldfisch, Cyprinus auratus, angestellt. Es nahm 1 Kilogramm Thier in 1 Stunde auf in cc bei 2° Temperatur 14.8 Sauerstoff, bei 10° 37,8, bei 30° 147,8; das Sauerstoff-Kohlensäureverhältniss war dabei 0,89; 0,96; 0,75. Derartigen Beobachtungen gegenüber erscheinen die bisherigen, ohne Beachtung der Temperatur angestellten Bestimmungen der Athmung von Wasserthieren ziemlich werthlos. Die Schwimmblasen der Fische dienen, besonders energisch jene, welche mit dem Verdauungsschlauche in offener Verbindung stehen, respiratorischen Functionen. Biot gibt an, dass die Luft der Schwimmblase mehr Sauerstoff enthalte, als die atmosphärische Luft, und zwar bei Fischen, welche in grösseren Meerestiefen leben, bis 70, bei solchen in geringerer Tiefe 29 Vol.-pCt.; Fr. Schulze fand, davon ganz abweichend, in der Schwimmblase der Schleie: 3,7—13,2 Vol.-pCt. Sauerstoff, 80,8—90,7 Stickstoff und 3,9—5,4 Kohlensäure; bei der Barbe fand sich neben Stickstoff nur 1,1 Sauerstoff und 1,4 Kohlensäure. Humboldt und Provençal hatten den Sauerstoffgehalt viel höher gefunden, beim Karpfen bis 10,7 %.

Zur Darmathmung (S. 544). — Die Schlammpeizger haben neben ihrer Kiemenathmung eine wahre Darmathmung. Sie schlucken Luft in den Darm ein, halten sie hier längere Zeit zurück und treiben sie dann durch den After aus. Baumert hat diese durch den Darm geathmete Luft untersucht und sie relativ arm an CO_2 gefunden.

Die Hautathmung und Darmathmung.

Die Hautathmung, die Perspiration, liefert qualitativ dieselben Produkte und bewirkt die gleichen Luftveränderungen wie die Lungenathmung, auch die übrigen Verhältnisse zeigen sehr genaue Uebereinstimmung mit denen der Lungenathmung. Die mit der Haut in Berührung befindliche Luft wird erwärmt, mit Wasserdampf und Kohlensäure beladen, dafür wird ihr Sauerstoff entzogen, und zwar dem Volumen nach meist weniger, als dafür Kohlensäure ausgegeben wird (Gerlach). Die Gesammtoberfläche der Haut eines Menschen bestimmte Funke zu 1,6 □ Dec.-m. Vor Allem ist die Haut für den Organismus von grosser Wichtigkeit als Organ der Wärme- und Wasserabgabe. Letztere kann in 24 Stunden eine sehr bedeutende Grösse erreichen. Nach Scharling beträgt die Kohlensäureabgabe der Haut (und des Darms) für 24 Stunden 32,08 Gramm, nach H. Aubert und Lange zwischen 2,3—6,3, während die durch die Lungen ausgeschiedene Menge das Hundert- bis Dreihundertfache davon betragen kann. Nach Gerlach steigert sich die Kohlensäureabgabe

durch die Haut mit der Muskelanstrengung, das Gleiche gilt von der steigenden Temperatur der umgebenden Luft (Aubert, Rohrig, Tubini und Ronchi) und zwar kann diese im geraden Verhältniss zur Temperatur eintretende Steigerung über das Doppelte der Ausscheidung bei mittlerer Temperatur betragen. Nach Aubert ist die CO_2-Ausscheidung der verschiedenen Körperstellen sehr verschieden gross, die Haut der Hand liefert relativ sehr geringe Werthe. Im Lichte scheidet nach denselben Autoren die Haut des Vorderarms mit der Hand des Menschen etwa um 16% mehr Kohlensäure aus, als in der Dunkelheit. Da andere Stoffe als Kohlensäure und Wasser nicht in erheblicher Menge ausgeschieden werden, so trifft der Gesammtverlust durch die Haut, der in 24 Stunden bis auf 500—800 Gramm steigen kann, vorzüglich auf die Wasserabgabe. Nehmen wir für Harn und Hautausdünstung die unteren Grenzen als Vergleichswerthe an, so ist die Wasserabgabe durch Lungen, Haut und Nieren je etwa 500 Gramm, also auf drei Wegen etwa gleich gross. Doch sind die Schwankungen besonders bei der Harnausscheidung, aber auch bei der Hautausdünstung ganz enorm. Die Lungenausdünstung bleibt (Bernard) oft unter der angegebenen Grösse zurück.

Als Organe der Hautathmung werden die Schweissdrüsen angesprochen, mit ihrem reichen Kapillarnetze, zu dem die Luft den Zutritt finden kann. Die mit Epidermis bedeckte Haut betheiligt sich gewiss nur sehr wenig, wenn überhaupt, an dem Gasverkehre zwischen Blut und Atmosphäre.

Nach Hoppe-Seyler konnte vielleicht (?) alle in der Hautathmung abgegebene Kohlensäure einem »Verwesungsprocess«, namentlich von Hautsekreten an der Hautoberfläche entstammen.

Der **Darmathmung** hat man bisher weniger Werth beigelegt. Die Gasmengen, welche durch den Darm gewechselt werden, sind nur gering. Doch wird im Darm wie in der Lunge Sauerstoff aus der verschluckten Luft verzehrt, und sie, beladen mit Kohlensäure, Wasserdampf und Wärme, wieder abgegeben.

Ausser der Darmathmung existirt noch eine zweite Quelle für Kohlensäurebildung im Darme: die Gährung, Milchsäure- und Buttersäuregährung des Darminhaltes. Neben der Kohlensäure findet sich in den Darmgasen nach Planer auch Wasserstoff, der ebenfalls dieser Gährung entstammt. Die Gasentwickelung im Dünndarme ist am bedeutendsten nach dem Genusse vegetabilischer, stärke- und zuckerhaltiger Nahrung, namentlich nach Hülsenfrüchten. Bei dieser Nahrung ist auch die entstehende Menge des Wasserstoffes am grössten, der bei Fleischnahrung vollkommen fehlen kann.

Regnault und Reiset hatten Wasserstoff in der Athemluft gefunden. Pettenkofer und Voit zeigten, dass das Vorkommen von Wasserstoff in den Gasen der Gesammtathmung unter denselben Nahrungsbedingungen eintrete, unter denen Planer in den Darmgasen Wasserstoff gefunden hatte. Der Wasserstoff in der Gesammtrespirationsluft enstammt also wohl den Gährungsvorgängen im Darme, welche auch noch einen freilich geringen Theil von Kohlensäure produciren. Das Schema, nach welchem der Zerfall des Zuckers in der Buttersäure- und Milchsäuregährung eintritt, ist folgendes:

$$\text{Zucker: } C_6H_{12}O_6 = 2\,C_3H_6O_3 = \text{Milchsäure}$$

$$= \begin{cases} C_4H_8O_2 = \text{Buttersäure} \\ C_2O_4 = 2\ \text{Kohlensäure} \\ H_4 = 4\ \text{Wasserstoff} \end{cases}$$

Im Magen findet sich kein Wasserstoffgas, so lange der Magensaft sauer ist; durch Neutralisiren desselben z. B. mit Magnesia usta, kann die Buttersäuregährung auch dort eingeleitet und dadurch Wasserstoff gebildet werden. Das Gasaufstossen bei Verdauungsschwäche ist darauf begründet.

Auch die in geringen Spuren in der Gesammtathemluft gefundenen Kohlenwasserstoffgase (Leuchtgas), und Ammoniak (S. 540) stammen wenigstens der Hauptmasse nach vom Darme. Das Ammoniak rührt vielleicht unter Umständen auch von Zersetzungen in kranken Zähnen, Speiseresten etc. in der Mundhöhle her, es beträgt nach den Bestimmungen von C. Voit und Lossen in der in 24 Stunden durch die Lungen abgegebenen Luft 0,0104 Gramm. S. L. Schenk fand die Ammoniakabgabe durch die Lungenathmung beim Hunde zwischen 0,07—0,102 Gramm im Tage schwanken. In der Hautathmung konnte er kein Ammoniak nachweisen. Das Blut halten Voit u. A. für ammoniakfrei, Brücke gibt darin Ammoniak als normalen Bestandtheil an.

Die letztgenannten Gase: Wasserstoff, Kohlenwasserstoff, Ammoniak stehen an ihrem Entstehungsorte und in der normalen Atmosphäre entweder unter keinem oder unter einem verschwindend kleinen Drucke, da sie dort nur in den minimalsten Spuren oder gar nicht (Wasserstoff) vorkommen. Sie müssen also, mögen sie im Darme oder sonst wo entstehen, sogleich in die Gewebsflüssigkeiten diffundiren. So gelangen sie in die Athemluft, wohl ohne mit den Oxydationsvorgängen im Organismus, denen die Athmung vor Allem dient, Etwas zu schaffen zu haben.

Zur vergleichenden Physiologie. — Bei den Nacktbäutern mit feuchter Haut (Fröschen) ist die Athmung durch die Haut weit bedeutender, als bei Warmblütern (L. Spallanzani u. A.). Regnault und Reiset beraubten Frösche ihrer Lungen und beobachteten, dass die operirten Thiere durch die Haut noch fast ebenso viel Sauerstoff aufnahmen und CO_2 abgaben, als früher im Besitz ihrer Lungen, was neuerdings vielfach bestätigt wurde. Nach Edwards genügt diese Hautathmung für das Leben der Frösche.

Gewebsathmung, innere Athmung.

Der Wechselverkehr des Blutes mit den Geweben, der in diesen den Stoffwechsel unterhält, ist dem Wechselverkehre des Blutes mit der atmosphärischen Luft entgegengesetzt. Das arterielle, sauerstoffbeladene und verhältnissmässig kohlensäurearme Blut gelangt in die Kapillaren und tritt hier mit den Gewebssäften der Organe in Diffusionsaustausch, welcher sich sowohl auf die festen, im Blute und in den Organflüssigkeiten gelösten Stoffe als auch auf die in beiden befindlichen Gase bezieht. Nur zum sehr kleinen Theil geschehen die organischen Verbrennungen, welche Sauerstoff verbrauchen und Kohlensäure bilden, im Blute selbst (Pflüger, T. Schmidt). Die weit überwiegende Hauptgrösse der Oxydation findet in den Geweben statt, an welche das Blut Sauerstoff abgibt, und aus denen es Kohlensäure aufnimmt. E. Oertmann hat, nach Pflüger's Methoden arbeitend, diesen Satz in aller Strenge bewiesen, indem er die Respiration von entbluteten Fröschen, deren Blut durch Salzwasser ersetzt war, bestimmte. Die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe bezog sich hier also lediglich auf die Gewebsathmung, da die »Blutathmung« beseitigt war. Es

ergab sich, dass die Oxydationsprocesse nach Entfernung des Blutes eine Zeit lang noch in derselben Höhe wie vorher verlaufen: der Ort der Oxydationsprocesse sind demnach fast ausschliesslich die Gewebe, nicht das Blut. Beispiel: Bluthaltige Frösche: O-Verbrauch 28,91 bis 29,4^{cc}; CO_2-Abgabe 21,2 bis 28,86^{cc}; blutleere Frösche: O-Verbrauch 23,3 bis 29,6; CO_2-Abgabe 22,6 bis 27,78. Bei Warmblütern (Kaninchen) erlischt dagegen der Oxydationsvorgang in den Geweben fast unmittelbar mit der Entziehung der Sauerstoffzufuhr durch das arterielle Blut (Hoppe-Seyler und Takácz). Die Entziehung des Sauerstoffs (z. B. durch Schwefelwasserstoffvergiftung) hebt bei ihnen die Mehrzahl aller normalen chemischen Processe in den Organen (Muskeln) auf, die Zerstörung von Glycogen, Zucker, Fettsäuren. Nur die Bildung von Fleischmilchsäure (bei Muskelkrämpfen) scheint vom Sauerstoff unabhängig vor sich zu gehen.

Die Kohlensäureabgabe der Organe in das Blut ist der Hauptsache nach ein Diffusionsvorgang, doch scheint eine Reihe von Thatsachen dafür zu sprechen, dass sich auch hier in zweiter Linie vielleicht aktive Ausscheidungsvorgänge mit einmischen. Namentlich scheinen an der Austreibung der Kohlensäure aus den Geweben die in den Geweben entstehenden Säuren sich mit betheiligen zu können. Ein Theil der Kohlensäure gelangt aus den Geweben in fester gebundenem Zustande in das Blut in Form salzartiger Verbindungen, da, wie wir oben sahen, das venöse Blut reicher an diesen Verbindungen ist, als das arterielle. Sowie die Kohlensäurespannung im Blute stärker wird, als in den Geweben, so nehmen diese umgekehrt Kohlensäure in sich auf, ebenso verhalten sich nach Valentin auch noch die ausgeschnittenen Gewebe gegen gasförmige Kohlensäure.

In den lebenden Knochen findet Pflüger die locker gebundene Kohlensäure, welche sich an dieser Diffusion betheiligen könnte, so gering, dass sie bei Stoffwechselversuchen vernachlässigt werden darf. Im frischen geruhten Kaninchenmuskel fand Pflüger mit Stintzing im Mittel ca. 100 Vol.-pCt. Kohlensäure, im Tetanus nimmt der Kohlensäuregehalt der Muskeln, wie ich zuerst constatirte, sehr beträchtlich ab; nach Pflüger und Stintzing beträgt er nach anhaltendem Tetanus im Kaninchenmuskel nur noch 33 Vol.-pCt.

Die Sauerstoffaufnahme der Organe ist z. Thl. ein chemischer Vorgang, analog der Sauerstoffaufnahme in das Blut bei der Athmung. In den Geweben ist der Diffusionsdruck des Sauerstoffs stets annähernd oder wirklich gleich Null, so dass aus dem Blute in die Gewebe der Sauerstoff sofort wie an ein Vacuum abgegeben wird (Pflüger). Die Gewebe entziehen dem Haemoglobin den locker gebundenen Sauerstoff und binden ihn fester an ihre Bestandtheile, so dass er aus den Geweben nicht mehr gasförmig gewonnen werden kann. Er speichert sich in ihnen aber in Verbindungen auf, die seine Verwendung zur organischen Oxydation dem Gewebe möglich macht. Bei jedem Durchtritt des Blutes durch die Kapillaren verliert das Blut etwa $^1/_3$ seines Sauerstoffs, es muss also, da der Kreislauf nur 10—20 Secunden erfordert, schon innerhalb einer Minute das Blut an Sauerstoff verarmen, wenn nicht genügend Sauerstoff in den Lungen zuströmt. Ist der Sauerstoffverbrauch des Organismus also nur minimal höher, als er der jeweilig bestehenden Athemgrösse entspricht, so wird sich sehr rasch relative Sauerstoffverarmung des Blutes mit beginnender Dyspnoe und dadurch Steigerung der Athemthätigkeit

einstellen, welche dem Blute in der Zeiteinheit mehr Sauerstoff zuführt. Indem dabei auch das Herz in gesteigerte Thätigkeit geräth, wird der Gesammtkreislauf beschleunigt und dem mehr Sauerstoff verbrauchenden Gewebe in der Zeiteinheit auch mehr Sauerstoff geliefert (cf. auch Thätigkeitswechsel der Organe und Blutvertheilung).

Je nach der Stärke ihrer Thätigkeit ist der Sauerstoffverbrauch und die Kohlensäurebildung (Stoffwechsel) in den Organen sehr wechselnd. Mit der gesteigerten Thätigkeit nimmt die Gewebsathmung sehr bedeutend zu. Das Blut, welches thätige Muskeln durchströmt, enthält nach LUDWIG und SCZELKOW um mehrere Procente weniger Sauerstoff und dagegen mehr Kohlensäure als das Blut ruhender Muskeln (S. 536). Trotzdem sieht man unter Umständen das Blut aus den Venen thätiger Organe noch ziemlich hellroth abfliessen. BERNARD u. A. beobachteten das an den Speicheldrüsen, Nieren, Pankreas, Magen- und Darmschleimhaut, auch am Muskel sieht man diese Erscheinung, wenn der Blutzufluss zu dem Organe in noch höherem Maasse gesteigert ist als der Gasaustausch. Ueber die wahre Grösse der Steigerung des letzteren können sonach nur Versuche eine Anschauung geben, bei welchen die absolute Grösse des Gesammtgasaustausches zwischen den ungleichen Blutmengen bestimmt wird, welche in gleichen Zeiten bei Ruhe und Thätigkeit die Organe durchströmen. Das Nierenvenenblut ist hell karmoisinroth, das der anderen Venen meist blauroth. Dass in allen Organen und Geweben innere Athmung stattfindet, beweist, dass in allen das arterielle Blut sich in venöses umwandelt. Im venösen Blute scheint die unter allen Umständen geringfügige organische Oxydation doch eine stärkere zu sein oder wenigstens unter Umständen werden zu können als im arteriellen. A. SCHMIDT fand, dass im venösen und vor Allem im Erstickungsblute sich relativ mehr leicht oxydirbare, »reducirende« Stoffe finden, welche zugeführten Sauerstoff rascher verzehren.

Die ältere Physiologie nahm einen lebhaften Stoffwechsel und damit lebhafte Wärmebildung in den Lungen an. G. LIEBIG zeigte, dass das Blut im linken Herzen meist etwas niedriger temperirt ist, als im rechten Herzen. der Unterschied beträgt 0,04—0,1° C. Man pflegte dieses Resultat auf eine in den Lungen stattfindende Abkühlung des Blutes zu beziehen. Nach den Angaben von COLIN könnte sich auch das Gegentheil besonders bei grösseren Thieren zeigen. JACOBSON und LEONHARD fanden auch bei Kaninchen bald das Blut im rechten, bald aber auch im linken Herzen wärmer. HEIDENHAIN und H. KÖRNER fanden regelmässig eine höhere Temperatur im Blute und in der Ventrikelwand des rechten Herzens. Sie finden die Ursache dafür in der Anlagerung des rechten Ventrikels an das Zwerchfell und die darunter liegenden wärmeren Organe der Abdominalhöhle, während der linke Ventrikel rings an die Lunge Wärme abgibt. E. ALBERT und S. STRICKER wiesen aber diesen Erklärungsgrund zurück. Sie finden, dass die Temperatur des Herzfleisches höher ist, als die des Blutes, und constatiren ganz unabhängig von dem Einfluss der anlagernden Organe eine Temperaturdifferenz zu Gunsten des Blutes des rechten Herzens. Bei der Annahme einer aktiven Wärmeproduktion in der Lunge hätte man wohl zunächst an den Vorgang der Bindung des Sauerstoffs an das Haemoglobin zu denken.

Ich habe an Fröschen eine Reihe von Versuchen angestellt, um die Grösse

der inneren Athmung in den verschiedenen Körpergeweben und Organen zu bestimmen. Die Resultate behalten mit den nöthigen Einschränkungen auch für Säugethiere ihre Geltung. Es ergab sich, dass sich die Gewebe und Organe durchaus nicht in dem Verhältnisse ihres relativen Gewichts an der Kohlensäureproduktion des Organismus betheiligen, dagegen entspricht die innere Athmung ziemlich genau dem relativen Blutgehalt der Organe. Der gesammte Bewegungsapparat männlicher Frösche: Muskeln, Nerven, Knochen, Haut, beträgt im Mittel 89% des Gesammtkörpergewichts. Für den Circulations- und Drüsenapparat bleiben sonach nur 11% des Körpergewichts. Der Drüsenapparat betheiligte sich trotzdem bei Fröschen nach meinen Messungen im Maximum mit 47%, im Mittel mit 40% an der Kohlensäureproduktion, bei dem Bewegungsapparate, dessen überwiegende Hauptmasse die Muskeln ausmachen, sah ich dagegen die Betheiligung an der Kohlensäureproduktion bis auf 53% sinken. Ganz analog diesem Procentverhältnisse ist die Vertheilung des Blutes bei Fröschen im Bewegungs- und Drüsenapparate; es vertheilt sich dasselbe, abgesehen von der im Circulationsapparat befindlichen Menge, in den beiden Hauptorgansystemen auch etwa zu gleichen Theilen.

Bei diesen Versuchen wurde die Kohlensäureproduktion kräftiger Froschmännchen zunächst für eine bestimmte Zeit gemessen, dann je ein Bein ohne Blutung amputirt, was diese Thiere meist ohne bemerkbare Reaktion ertragen, und nun die Kohlensäureproduktion wieder für dieselbe Zeit gemessen. Der Verlust an Kohlensäure war durch den Verlust des entfernten, gewogenen Theils des Bewegungsapparates veranlasst. Nach dem Versuch wurde das Thier geschlachtet, seine Organe gewogen, und von der Betheiligung des abgeschnittenen Stückes des Bewegungsapparats an der Kohlensäureproduktion auf die Betheiligung des Gesammtbewegungsapparates gerechnet. Der Rest der beobachteten Kohlensäureproduktion fiel auf den Drüsen- und Circulationsapparat.

Einfluss des Luftdruckes auf die Athmung und das Allgemeinbefinden.

Allgemeine Experimentalergebnisse. — Die im Blute absorbirten Mengen von Stickstoff richten sich nach unseren obigen Darstellungen nach der Grösse des Luftdrucks. Bei Steigerung des Sauerstoffdrucks in der geathmeten Luft bis zu 3 Atmosphären beobachtete P. Bert eine geringe, aber ziemlich gleichmässig steigende Zunahme des Blutes an auspumpbarem Sauerstoff. Diese Zunahme beruht z. Thl. darauf, dass, abgesehen von dem Oxyhaemoglobin, entsprechend grössere Sauerstoffquantitäten in das Plasma des arteriellen Blutes und zwar einfach durch Gasabsorption Diffusion eintreten. Da die Hauptursache der Sauerstoffaufnahme in das Blut aber die Menge des in ihm enthaltenen Haemoglobins ist, so vermindert eine Erniedrigung der Sauerstoffspannung in der geathmeten Luft die Sauerstoffaufnahme in der Athmung in wesentlicher Weise erst dann, wenn diese Erniedrigung einen relativ sehr hohen Grad erreicht hat. Bei 9—10 Vol.-pCt. Sauerstoffgehalt der geathmeten Luft wird, nach Speck's je etwa 5 Minuten währenden Versuchen an sich selbst, zwar etwas weniger Sauerstoff aufgenommen, umgekehrt bei einer Erhöhung über den normalen Sauerstoffgehalt der atmosphärischen Luft etwas mehr, die Kohlensäureausscheidung in der Athmung wird in beiden Fällen aber nicht verändert. Das Letztere bemerkte auch W. Müller bei noch weit niedrigerem Sauerstoffdruck. Erst bei einem Sauerstoffdruck von 7—8% einer Atmosphäre beginnen deutlicher wahrnehmbare Störungen der respiratorischen Functionen, indem die Zahl der Athemzüge zunimmt; bei noch weiterer Erniedrigung tritt subjektive und objektive Ermüdung, dann Bewusstlosigkeit

und bei 3,5—3 % der Tod unter Stillstand der Athmung und Herzbewegung ein (W. Müller, P. Berd u. A.). Kaltblütige Thiere ertragen bei ihrer normalen Körpertemperatur eine stärkere Erniedrigung des Sauerstoffgehalts in der Athemluft, als warmblutige Thiere. — Die mechanische Erklärung der Wirkung verminderten und erhöhten Luftdrucks von G. v. Liebig cf. S. 560.

Verminderter Luftdruck. — Die Luft ist durch den Grad ihrer Compression, die sie entweder durch den verschiedenen Luftdruck bei verschiedenen Ortshöhen erfährt, oder die auf künstlichem Wege durch Luftpumpenvorrichtungen vermehrt oder vermindert werden kann, nicht ohne Einfluss auf unser Befinden. Der Totaldruck, welcher von allen Seiten her gleichmässig vertheilt auf den menschlichen Körper wirkt, schwankt zwischen etwa 30 bis 40 Tausend Pfund. Die gewöhnlichen Barometerschwankungen reichen kaum aus, bemerkbare Wirkungen auf unser Allgemeinbefinden hervorzubringen. Vierordt beobachtete bei einer Schwankung des Barometerstandes von 749 mm zu 762 mm bei letzterem Stande eine geringfügige Vermehrung der Athemzüge und Pulse, von 70,9 zu 72,2, und von 11,6 zu 12,2 in der Minute. Bei stärkerer Verminderung des Luftdruckes auf einer Höhe von 2—3500 m, die wir erstiegen haben, bemerken wir ein eigenthümliches Gefühl besonderen Wohlbehagens, welches durch eine ausgiebigere Lungenventilation hervorgerufen scheint. Dabei bemerkt man, dass die eingetretenen Ermüdungserscheinungen weit rascher verschwinden als in der Ebene, was vielleicht von einer eingetretenen Steigerung der Blutbewegungsgeschwindigkeit herrühren könnte. Der raschere Blutstrom kann die ermüdenden Muskelzersetzungsprodukte (cf. oben S. 120 und bei Muskel) aus den Muskeln rascher auswaschen und entfernen. Gegen Alkoholgenuss soll eine Immunität eintreten. Man meint, dass sich diese vielleicht aus der durch den verminderten Luftdruck beschleunigten Abdunstung des Alkohols aus dem Blute in den Lungen erklären lasse, vermöge deren der Alkoholgehalt des Blutes nicht zu erheblicher Höhe steigen kann. In den grossen Höhen der Andes soll der Alkohol fast ganz seine Wirkung versagen. Dagegen trinken die Führer in den tyroler Gletschergebieten keinen Schnaps, um die Sicherheit ihres Ganges nicht zu beeinträchtigen. — Man hat beobachtet, dass in stark verdünnter Luft die vitale Kapacität der Lungen sinkt, die Respirationsfrequenz dagegen steigt. Der Puls wird beschleunigt, alle Gefässe erweitert. Die Perspiration und Schweissbildung steigen, die Körpertemperatur nimmt ab, die Athemzüge werden tiefer, der Puls häufiger, die Harnmenge sinkt. Der Umfang der Glieder nimmt zu. Die Muskeln ermüden nun im Gegensatz zu dem oben Gesagten rascher (cf. unten). Bei den Muskeln der unteren Gliedmassen hat das seinen Grund vielleicht mit darin, dass der Luftdruck weniger als sonst dazu beiträgt, den Schenkelkopf in der Pfanne zu halten (?). Sehr gewöhnlich sind Ohrenschmerzen und Schwerhörigkeit, da das Trommelfell, bis das Gleichgewicht im Luftdruck zwischen Paukenhöhle und äusserer Luft hergestellt ist, mehr oder weniger nach aussen gewölbt und gespannt wird. Schluckbewegungen befördern die Luftleitung in der Eustachischen Röhre und beseitigen damit diese Ohrenschmerzen. Bei noch weiter gesteigerter Erniedrigung des Luftdrucks bis zu einer Sauerstoffspannung von 3,5—3 % einer Atmosphäre erfolgt Bewusstlosigkeit und Tod. Muskelanstrengungen, welche den Sauerstoff rascher verbrauchen, erhöhen die Lebensgefährlichkeit der gesteigerten Druckerniedrigung sehr bedeutend; Athmen von reinem Sauerstoff lässt sie länger ertragen (Berd).

R. v. Schlagintweit berichtete aus den asiatischen Hochgebirgen über die als Bergkrankheit bekannten Beschwerden auf sehr bedeutenden Höhen, die namentlich auch in den Andes von Südamerika und bei Luftschifffahrten bemerkt wurden. Diese Beschwerden werden in Hochasien als Bisch Ki Haua, Kharab Haua, »giftige böse Luft«, bezeichnet. Jede Muskelbewegung in diesen hohen Regionen verursacht dem Neuling die grösste Anstrengung und Abspannung, Gewöhnung setzt die Erscheinungen herab, und lässt sie endlich, bei verschiedenen Menschen in verschiedener Zeit, verschwinden. Beobachtungen an den Bewohnern der mexikanischen Hochebene brachten Jourdanet zu der Anschauung, dass Menschen, welche Gegenden von etwa 2000 m über dem Meeresniveau dauernd bewohnen, schwächer

seien, von anämischem Aussehen, mit geringerer Resistenz gegen Erkrankungen; er leitet das vom Mangel an Sauerstoff in dem arteriellen Blute her: Anoxyhaemie. Nach Schlagintweit, Poppig u. A. ist dagegen die in solchen und noch bedeutenderen Höhen geborene Bevölkerung nicht weniger kräftig als die Tieflandbevölkerung. Poppig machte seine Beobachtungen in der 4300 m hoch gelegenen peruanischen Bergstadt Cerro. Schlagintweit beobachtete an sich selbst folgende Bergbeschwerden: Kopfweh, des Nachts gesteigert, Schwierigkeit zu athmen, bis zur Erstickungsangst, Appetitlosigkeit, Abspannung, Niedergeschlagenheit, Stumpfsinn; ferner grosse Neigung zu Blutungen aus Lunge und Nase, die aber spontan nicht aufzutreten scheinen. Wind vergrossert die Beschwerden. In den Andes sind die Beschwerden grösser als in Asien und treten schon bei geringerer Höhe auf. Während sie in Asien erst bei 16500 englischen Fuss beginnen, stellen sie sich in den Andes schon bei 11500′ ein. Auch Maulthiere und Hunde leiden daran. Man sucht erstere durch Aderlass (Oeffnen eines Zungengefässes) zu erleichtern. Bei einer Höhe von 4600 m über dem Meeresniveau beobachteten die Luftschiffer Sivel und Crocé-Spinelli keine üblen Einflüsse der verdünnten Luft. In noch bedeutenderen Höhen über 18000′ treten aber grosse Uebelkeit, spontane Blutungen aus dem Zahnfleisch und Blutaustritt in die Bindehaut des Auges auf; gegen jede Bewegung der grösste Widerwillen, bei Niedersitzen Erleichterung. Derartige Störungen stellen sich in pneumatischen Apparaten unter vermindertem Luftdruck weit früher ein, nach den an der eigenen Person angestellten Beobachtungen von Berd schon bei 480—450 mm Quecksilberdruck, nach Sivel und Crocé-Spinelli bei 370 bis 307 mm. Ihre aëronautischen Versuche beweisen, dass ein Mensch auf kurze Zeit eine allmählig eingetretene Erniedrigung des Luftdrucks bis zu 264—248 mm oder etwa bis zu 7% einer Atmosphäre zu ertragen vermag. Es reichen unter diesen Umständen aber schon relativ geringe Muskelanstrengungen und individuelle Dispositionen hin, den Tod herbeizuführen. Die wahre Grenze für das bewusste Leben scheint ungefähr bei 8000 m über dem Meeresspiegel, etwa 280 mm Quecksilber, zu liegen (Tissandier). Als Glaischer bei einer Luftfahrt rasch eine Höhe von 32000′ erreicht hatte, stürzte er besinnungslos nieder, nur sofortiges Senken durch seinen Begleiter konnte ihn retten. Hoppe-Seyler hat gezeigt, dass ein solches plötzliches Zusammensinken auch bei Thieren unter der Glocke einer Luftpumpe bei sehr rascher Luftverdünnung stattfindet. Er erklärte letzteres durch Gasentwickelung aus dem Blute unter dem geringen Druck. Die Gasblasen verstopfen dann die Lungenkapillaren und Herzkapillaren in analoger Weise, wie das bei Lufteintritt in die Venen in der Nähe des Brustraumes erfolgt. Georg v. Liebig's neue Aufschlüsse über das Wesen der Bergkrankheit cf. S. 560.

Fortgesetzte starke Arbeit auf hohen Bergen wird nicht gut ertragen. Am hohen Goldberge in der Rauris arbeiten die Bergleute mitten unter den Gletschern in einer Höhe von 7500′ über dem Meere. Als Regel gilt, dass bei einem durchschnittlichen Lebensalter von nur 40 und einer Dienstzeit von 20 Jahren die Rauriser Knappen, zu denen nur vollkommen gesunde, kräftige Männer genommen werden, nicht mehr fähig sind, den Berggang auszuhalten, Athmungsbeschwerden, Krafterlahmung, namentlich in den Füssen, machen ihnen den Dienst unmöglich. Es wird das daraus erklärlich (J. v. Liebig), dass mit der Abnahme des Luftdrucks zu der täglichen Arbeitsleistung durch die Glieder eine dauernd gesteigerte Arbeit für die Athemmuskeln für die Athmung und des Herzens für den Blutkreislauf hinzukommt, welche den Körper früher aufreibt, obwohl diese Bergleute bedeutend mehr und zwar vor Allem Albuminate (Fleisch und Bohnen) zu sich nehmen, als andere Arbeiter jener Gegenden, die in geringerer Höhe beschäftigt sind.

Gesteigerter Luftdruck. — In den Taucherglocken, bei Brückenbauten nach der pneumatischen Methode oder in künstlichen Apparaten zum Aufenthalt des Menschen in verdichteter Luft, wie solche in Paris, auf dem Johannisberg im Rheingau, in Reichenhall u. a. O. aufgestellt sind, hat man Gelegenheit genommen, die Wirkung des gesteigerten Luftdrucks zu beobachten. Babington hat Beobachtungen veröffentlicht, welche er beim Legen des Fundamentes der neuen Londonderry-Brücke gewonnen. Diese Brücke ruht auf 6 eisernen Hohl-

cylindern, welche bis zu 40' unter das Flussbett gesenkt sind. Zunächst wurden die später mit Sand und Cement zu füllenden Hohlcylinder eingesenkt und das Wasser aus ihnen durch ein Luftdruckwerk herausgepresst. In dem so hergestellten wasserfreien Raume mussten die Arbeiter unter erheblich gesteigertem Luftdrucke arbeiten bei 27 — 43 Pfund Luftdruck auf den Quadratzoll. Die Arbeiter verspürten zuerst einen Schmerz in den Ohren, der bald vorüber ging, dann Kopfschmerz, erhöhte Schärfe des Gehörs, Schmerzen in den Gliedern, zuweilen Nasenbluten und ein Gefühl von Schwere und Unbehagen. Diese Beschwerden waren am stärksten, wenn der Uebergang aus einem Luftdruck in den anderen zu schnell stattfand. Am allerintensivsten traten sie auf, wenn die Arbeiter aus dem Cylinder an die atmosphärische Luft kamen. Hier entstanden in einzelnen Fällen plötzliche, tödtlich verlaufende Lähmungen (durch Gasaustritt aus dem Blute? cf. oben). Die Erscheinungen besserten sich unter dem hohen Druck wieder, so dass sich Einzelne nur in den Cylindern wohl befanden. Manche behaupteten, dass es sich besonders leicht darin arbeite. A. Magnus suchte bei einem Brückenbau in Königsberg den Grund für die in comprimirter Luft eintretenden Ohrenschmerzen zu ermitteln. Der Sitz der Schmerzen ist im Trommelfell. Es wird durch den verstärkten Luftdruck nach innen gewölbt und gespannt, wobei es sich bedeutend röthet. Um eine Ausgleichung des Luftdruckes auf beiden Seiten des Trommelfelles herzustellen, dienen Schlingbewegungen, durch welche die Tuba Eustachii geöffnet wird. Ausathmungsversuche bei verschlossenem Mund und zugehaltener Nase (Valsalva'scher Versuch) pressen Luft in die Trommelhöhle ein und beseitigen dadurch den Ohrenschmerz. Das beobachtete schärfere Gehör rührt wohl z. Thl. davon her, dass comprimirte Luft besser den Schall leitet. Das Sprechen ist bei hohem Druck erschwert, bei 2,5 Atmosphärendruck kann man nicht mehr pfeifen.

Die Versuche von R. v. Vivenot, Langer, G. v. Liebig, Speck (erstere mit dem Apparate auf dem Johannisberg angestellt ergaben bei einer Luftverdichtung um $^{3}/_{7}$ Atmosphäre eine Zunahme der Lungengrösse, die sich durch Percussion ebenso wie am Spirometer nachweisen liess. Die vitale Kapacität der Lungen zeigte sich dagegen gewöhnlich um 3,3—3,4 % gesteigert. Die absoluten Luftmengen, welche durch diese Vergrösserung der Lungen aufgenommen werden können, ändern sich natürlich in noch stärkerem Verhältniss etwa 5 : 3 : 2. Durch längeren Aufenthalt in der verdichteten Luft soll die vitale Kapacität der Lunge dauernd erhöht werden. Die Zunahme soll bis zu 24 % steigen können. Die Respirationsfrequenz sinkt von 16—4 in der Minute in der komprimirten Luft, und zwar soll auch diese Wirkung für längere Zeit andauern. Die Athmung wird regelmässiger (G. v. Liebig). Die Kohlensäureabgabe soll absolut zunehmen. Nach G. v. Liebig bleibt dagegen die CO_2-Abgabe ziemlich unverändert, dagegen ist die Sauerstoffaufnahme bemerkbar gesteigert. Die Arbeiter bei den pneumatischen Brückenbauten zeigten vermehrten Appetit, Zunahme der Harnsekretion und Abmagerung. Bei genügender Nahrung soll letztere fehlen und dafür eine allgemeine Kräftigung des Muskelsystems und des Herzens eintreten. Eine vorübergehende Abnahme der Pulsfrequenz ist wahrscheinlich durch eine Veränderung der Widerstände in der arteriellen Blutbahn durch Compression der Gefässe in der Folge des vermehrten Druckes veranlasst. Anfänglich steigt dabei auch die Temperatur, kann aber in der Folge ohne Verminderung des Luftdruckes sogar unter die Norm sinken. Die oberflächlichen Venen schwellen ab, die Haut wird blass. Unter der Einwirkung des gesteigerten Luftdrucks wird mehr Sauerstoff in das arterielle Blut absorbirt aufgenommen, es befinden sich daher Kranke, deren Sauerstoffaufnahme in den Lungen, z. B. durch Katarrh oder Emphysem behindert ist, in comprimirter Luft meist wohler, als bei gewöhnlichem Luftdruck. Andererseits sind für die Besserung und Heilung solcher Leiden gerade hochgelegene klimatische Kurorte von grösster Wirkung, gewiss aber nur in untergeordnetem Masse wegen ihres Einflusses auf die Kohlensäurediffusion; eine Hauptrolle spielen hier die günstigen Einflüsse auf den Mechanismus der Athembewegung, und die Hebung der Herzaktion und Verdauung, woraus eine allgemeine Steigerung der Lebensenergie resultirt. Die Wasserverdunstung steigt mit der Verminderung das Gasdrucks; bei sonst gleichen Verhältnissen gilt letzteres auch für die Wärmestrahlung,

daher ist — durch gesteigerte Verdunstung und Ausstrahlung — der Wärmeverlust bei gleicher Temperatur etc. in höher gelegenen Orten grösser, als in tiefer gelegenen. Nach unserer obigen Auseinandersetzung steigt damit der Gesammtstoffwechsel wie die Athmung, dem entsprechend fand MERMOD, dass sich die bei 147 m Höhe über dem Meeresspiegel ausgeathmete Kohlensäuremenge zu der bei 1100 m ausgeathmeten verhalte wie 0,37503 : 0,40231.

Ventilation.

Nach der Diät gibt es wohl kein Postulat der Gesundheitspflege, gegen welches vom Publikum so fortgesetzt gesündigt wird, als gegen das der richtigen, ausreichenden Lufterneuerung in den Wohnungen. Die engen Wohnräume, möglichst hermetisch verschlossen gegen das Eindringen der frischen, gesunden Luft, werden namentlich im Winter Brutstätten der schwersten und mannigfaltigsten Krankheiten, indem der fortgesetzte Aufenthalt in schlechter Zimmerluft die Widerstandsfähigkeit des Individuums gegen jede Art von krankmachenden Ursachen herabsetzt. Es wird uns aber die Hartnäckigkeit, mit welcher sich das Publikum einer richtigen Lufterneuerung widersetzt, weniger unverständlich, wenn wir sehen, dass auch noch so mancher Arzt, der sich ein richtiges Verständniss der Frage hätte verschaffen können, so vollkommen falsche Anschauungen über dieselbe hegt. Und was sollen wir von der älteren Praxis sagen, welche eine frische Luft von dem gefürchteten »Zuge« nicht zu unterscheiden vermochte? Die Furcht des Publikums vor Luft ist ihm von ärztlicher Seite seiner Zeit beigebracht worden. Es dauert lange, bis in das Publikum neue ärztliche Ansichten eindringen; einmal aber festgesetzt, sind sie kaum durch eine Macht der Welt wieder auszutreiben. Man folgt mit halber Aufmerksamkeit den wissenschaftlichen Auseinandersetzungen des Arztes, verspricht Abhülfe des Uebelstandes, zuckt hinter seinem Rücken die Achseln über den modernen Neuerer und lässt es bei der althergebrachten Unreinlichkeit.

Was hilft da in manchen Fällen weiter, als das Fenster geradezu einzuschlagen?

Luft, frische, reine Luft ist in erster Linie Lebens- und Gesundheitsbedürfniss.

Sie kann durch keine Räucherung oder Desinfection ersetzt werden. Wenn es in einem Kranken- oder Wohnzimmer übel riecht, so pflegt man zuerst nach Räuchermitteln zu greifen. Diese haben nur die Wirkung, unsere Geruchsorgane, die uns von der Natur als Hauptwächter unserer Gesundheit verliehen sind, durch übermässige Reizung soweit abzustumpfen, dass sie die Warnung vor den gasförmigen Feinden unseres Lebens nicht mehr vernehmen. Der moderne Arzt ist ein erklärter Gegner aller Räucherungen. Nicht weil unter Umständen niemals dadurch schädliche Stoffe entfernt werden könnten, sondern vor Allem darum, weil wir nach ihrer Anwendung in unserem Geruchsorgane für längere Zeit keinen brauchbaren Massstab für die Reinheit der uns umgebenden Luft mehr besitzen. Wo es in einem Wohn- oder Krankenzimmer nach Weihrauch, Chlor oder Essigdämpfen riecht, müssen wir von vorneherein den Verdacht hegen, dass hier nicht die gehörige Aufmerksamkeit auf Herbeischaffung frischer Luft verwendet wird, sonst würde es dieser Mittel nicht bedürfen (cf. Desinfection).

Eine missverstandene Gesundheitspflege legt einen zu grossen Werth auf d i e G r ö s s e d e s L u f t r a u m e s, in welchem der Mensch sich aufhält und wohnt. Man mag an den Angaben festhalten, dass für den Einzelnen (auch in Kasernen) die Grösse des Luftraumes, in dem er leben soll, etwa 800 Cubikfuss betragen müsse, und für Kranke etwa 1000 Cubikfuss Luftraum fordern. Aber man darf nicht vergessen, dass ein noch so grosser Luftraum bei ungenügender Ventilation bald durch den Aufenthalt, den Athem und die Perspiration des Menschen verpestet wird, und dass dagegen ein sehr beschränkter Wohnraum an sich, bei ausreichender Luftzufuhr, doch die Gesundheit nicht zu beeinträchtigen braucht. v. PETTENKOFER erwähnte einen Transport von 500 Sträflingen auf dem französischen Schiffe Adour nach Cayenne. Der untere Schiffsraum und das Zwischendeck, wo die Gefangenen während der langen Reise verweilen sollten, hatte nur so viel Raum, dass für ein Individuum 1,7 Cubikmeter blieb. Es war ein Ventilator (nach VAN HECKE'schem Systeme, von einem Mann getrie-

ben in Thätigkeit, der in der Stunde mehr als 6000 Cubikmeter Luft eintrieb, mit einem Windschlauch versehen bei massigem Winde sogar mehr als 9000 Cubikmeter. Während der Reise genossen die 500 Sträflinge eine vollkommene Gesundheit, so dass von dem Arzte nicht ein einziger Krankenzettel geschrieben werden musste.

Man darf der Ventilation natürlich nicht mehr zumuthen, als sie zu leisten vermag.

Nur bei sonstiger, vollkommener Reinlichkeit dürfen wir von einer Lufterneuerung den gewunschten Erfolg, einen Raum mit gesunder Luft zu versorgen, verlangen. Ein Raum, der, abgesehen von der Ausdünstung der Bewohner, auch sonst noch Quellen mephitischer Dunste, die fortwährend fliessen, enthält, z. B. einen ungereinigten Nachtstuhl, ein beschmutztes Bett etc., wird durch keine Ventilation zu einem nicht Ekel erregenden Wohnplatze werden konnen. Ist aber diese Bedingung der Reinlichkeit erfüllt, so wird die Nase bei genügender Lufterneuerung auch in einem Krankenzimmer keine Belästigung erfahren.

Die Ventilationsfrage ist für Deutschland durch die Untersuchungen v. Pettenkofer's in ein neues Stadium getreten. Wir schliessen uns seiner Darstellung an. Er benutzt als Mass der Reinheit der Luft die Kohlensäuremenge, welche in einem bestimmten Luftvolum sich vorhanden zeigt, und lehrt uns eine einfache Bestimmungsmethode dieses vornehmlichen Athmungsproduktes, welche in der Hand jedes sorgfältigen Arztes ein sicheres Resultat zu geben verspricht. Die Kohlensäure ist in der reinen Atmosphäre nur zwischen 0,4 — 0,6 pro Mille dem Volum nach vorhanden. Im Mittel darf man als Normalgehalt etwa 0,5 pro Mille annehmen. Aber auch in Wohnräumen, welche eine sehr verunreinigte Luft für unser Gefühl darbieten, steigt sie nicht über einige Tausendstel im Volum. In einem behaglichen Wohnzimmer fand Pettenkofer den Kohlensäuregehalt zu 0,54 — 0,7 pro Mille, während er ihn in übelriechenden, schlecht ventilirten Krankenzimmern zu 2,4 pro Mille, in überfüllten Hörsälen zu 3,2, in Kneipen zu 4,9, in Schulzimmern zu 7,2 pro Mille bestimmte. Dieser an sich immerhin selbst in dem schlechtesten Falle (Schulzimmer!) noch absolut niedrig zu nennende Kohlensäuregehalt der Luft ist an sich nicht im Stande, die Gesundheit zu beeinträchtigen. Wir empfinden, wenn auf chemischem Wege reine Kohlensäure in derselben Quantität entwickelt und der uns umgebenden Luft beigemischt wird, keinerlei Belästigung. Wir verspüren dagegen eine solche sogleich dann, wenn die eingeschlossene Luft in Folge des Aufenthalts von Menschen einen nur minimal gesteigerten Kohlensäuregehalt zeigt. Es ist nicht die Kohlensäure selbst, welche uns eine »eingeschlossene Luft« unbehaglich macht; es thun das die durch die Respiration und Perspiration des Menschen der Luft ausser Kohlensäure noch beigemischten anderen flüchtigen Stoffe: Wasserstoff, Kohlenwasserstoff, Schwefelwasserstoff, Ammoniak, Weingeist aus alkoholischen Getränken, flüchtige Fettsäuren etc. Da es nicht gelingen würde, diese minimalen Stoffmengen mit der für quantitative Vergleiche erforderlichen Schärfe zu bestimmen, so kann uns nach Pettenkofer's Vorgang die Kohlensäure, durch Athmung der Luft beigemischt, ein Maass abgeben für die Verunreinigung, welche die Luft eines Wohnraumes durch den Aufenthalt von Menschen erlitten hat.

Um die Grösse des L u f t b e d ü r f n i s s e s richtig bemessen zu können, müssen wir zuerst fragen, wie bedeutend die Luftverderbniss durch ein Individuum in einer bestimmten Zeit sich herausstellt. Pettenkofer nimmt als Durchschnitt an, dass ein mittlerer Mensch in der Minute 5 Liter Luft ausathmet, welche 4% an Kohlensäure enthalten, in einer Stunde also 300 Liter Luft mit 12 Liter Kohlensäure. Wir fühlen uns nur in einer solchen Luft behaglich, welche in Folge der Respiration und Perspiration von Menschen nicht mehr als höchstens 1 pro Mille Kohlensäure enthält. Es muss die Quantität der durch die Ventilation einem Raume zugeführten frischen Luft, die Luft, welche in der gleichen Zeit in diesem Raume ausgeathmet wird, wenigstens in dem Verhältnisse übertreffen, in welchem der Kohlensäuregehalt der ausgeathmeten Luft (40 pr. mill.) grösser ist, als die Differenz (0,2) zwischen dem Kohlensäuregehalt der freien Luft (0,5 pr. mill.) und einer Luft, in welcher der Mensch erfahrungsgemäss auf längere Zeit sich behaglich und wohl befindet (0,7 pr. mill.). Man muss also, wenn ein Mensch oder eine Anzahl Menschen in einem geschlossenen Raume athmen, in diesen Raum wenigstens das 200—300 fache Volum der ausgeathmeten an frischer Luft in jedem

Zeitmomente zuführen, wenn die Luft im Raum stets gut bleiben soll. Da ein Mensch in der Stunde etwa 300 Liter Luft ausathmet, so müssen dem Zimmer, in welchem er sich aufhält, in dieser Zeit 90,000 Liter = 60 Cubikmeter frischerLuft zugeführt werden. Man ist in Frankreich auf experimentellem Wege zu dem nämlichen Postulate gelangt.

60 Cubikmeter Luft in der Stunde für jeden Kranken müssen von einer ausreichenden Ventilation als Minimalleistung gefordert werden.

Es scheint, dass für Wohnräume, welche eine ausgiebige Ventilation bedürfen, also namentlich für Spitaler, eine genügende Luftzufuhr mit aller Sicherheit nur durch directes *Eintreiben* von frischer Luft erreicht werden könne. Nach Pettenkofer ist dazu bis jetzt der von van Hecke *construirte Ventilator* am zweckmässigsten und am wenigsten kostspielig. Das directe Eintreiben von Luft bei der Ventilation hat stets den bedeutendsten Vorzug vor dem Absaugen. Wir müssen auch hier mit gegebenen Grössen und Verhältnissen rechnen. Hat man es mit überfüllten Wohnräumen, Kriegsspitälern etc. zu thun, ohne dass sogleich durch künstliche Ventilation Abhülfe geschafft werden kann, so darf der Arzt nicht die Hände in den Schoss legen. Er muss es verstehen, die ihm gebotenen natürlichen Ventilationsmittel ausgiebig zu benutzen. Dazu ist aber eine genaue Kenntniss nöthig über die Wirkungsgrösse dieser ihm zu Gebote stehenden Hülfsmittel.

Pettenkofer hat uns gelehrt, dass die trockenen gemauerten Wände unserer Wohnräume für Luft leicht durchgängig sind, und dass ein Kalk- und Gypsbewurf diese Durchgängigkeit ebensowenig hindert als ein Oelanstrich. Bei Ziegelsteinwänden namentlich finden sich eine Unzahl von Poren, durch welche die äussere Luft mit der Zimmerluft in offener Verbindung steht. Unsere Wohnungen sind ebenso porös wie unsere Kleider, mit denen sie fast die gleiche Function theilen. Durch beide beabsichtigen wir unseren Körper den Temperaturschwankungen des Klimas zum Trotz mit einer möglichst gleichmässigen Temperatur zu umgeben. Man kann bei der Versuchsvorrichtung Pettenkofer's durch trockene Ziegelsteine und getrocknete Mauern hindurch ein Licht ausblasen; jeder Windstoss auf die Aussenseite einer Wand bringt eine Luftbewegung auf der inneren Wand hervor. Krankhaft gesteigerte Hautempfindlichkeit kann den leichten Luftzug, der so entsteht, spüren, besonders wenn die einströmende Luft eine von der Zimmerluft verschiedene Temperatur besitzt. Häufig behaupten schwitzende Kranke Wöchnerinnen, deren Bett an einer Wand steht, die gegen das Freie sieht, dass sie den Zug von der Wand her spüren. Durch einen Schirm zwischen Bett und Wand kann man diesen Klagen abhelfen. Die *Durchgängigkeit von Bruchsteinen* zeigt grosse Verschiedenheiten. Der trockene Mörtel lässt aber die Luft mit Leichtigkeit passiren, so dass also auch Wände, die aus Bruchsteinen und Mörtel zusammengesetzt sind, eine nicht unbeträchtliche Permeabilität für Luft besitzen.

Versuche über die Quantität des *durch die Wand stattfindenden Luftwechsels* lehren, dass die unzähligen feinen Porenöffnungen der Wand, durch welche die innere Luft des Zimmers mit der freien Luft communicirt, zusammen viel mehr Luft eintreten lassen, als die Spaltenräume der Thüren und Fenster, die unserem Blick auffallen. Für die Grösse des Luftwechsels durch die Wand ist vor Allem der Unterschied in den Temperaturen der communicirenden Lufträume von Wichtigkeit. Je grösser die Differenz sich stellt, desto mehr Luft wird ein- und ausströmen. Sinkt im Winter die Temperatur in den Wohnräumen, so nimmt auch die Lufterneuerung durch die Wände ab; eine Luft, die vorhin noch ziemlich gut war, kann jetzt, da sie nicht mehr genügend erneuert wird, übelriechend und ungesund werden. Daher rührt es z. Thl., dass eine kalte Luft im Zimmer so schädlich ist, während kalte Luft im Freien an sich keine nachtheiligen Folgen zeigt. Die in den meist überfüllten, schlecht geheizten Wohnungen im Winter frierenden Armen leben also dabei auch noch in schlechter, verdorbener Luft. Die Unterstützung der Armen im Winter mit *Brennmaterial* ist also eine sanitätspolizeiliche Massregel von grosser Bedeutung und Tragweite. Die Experimente ergeben jedoch, dass auch unter den günstigsten Bedingungen *die natürliche Wandventilation nicht ausreicht*, um die Luftverderbniss hintanzuhalten, wenn mehr als ein Individuum ein Zimmer (von 3000 Cubikfuss) bewohnt.

Die Porosität der Wände hort sogleich auf, sowie die letzteren feucht werden. Neuerrichtete Wände und Häuser zeigen noch keine genugende naturliche Ventilation wegen der noch feuchten Wande. Daraus erklärt sich z. Th. die Gefahr neuer oder sonst feuchter Wohnungen fur die Gesundheit. Am allerschädlichsten wirkt dieser Faktor naturlich in Krankenzimmern und Spitalern, wo das Lufbedürfniss ein sehr viel grosseres ist. GLUSSGEN findet den Wassergehalt des Mörtels eines »Neubaues« bis zu 10%, der ausgetrockneten Wände nur zu etwa 0,5%.

Die naturliche Ventilation durch die Wände kann durch Ofenheizung im Zimmer gesteigert werden. Nach directen Messungen PETTENKOFER's erhoht ein lebhaftes Feuer im Ofen den Luftwechsel durch die natürliche Ventilation um etwa 40 — 90 Cubikmeter in der Stunde.

In Zeiten, in denen das Oeffnen der Fenster gestattet ist, haben wir hierin eine nicht unbedeutende und oft ausreichende Ventilationsunterstützung. Es steigt und fällt hierbei die absolute Menge der ein- und ausströmenden Luft mit der Zu- und Abnahme der Temperaturdifferenzen. Im Winter zeigt sich eine halbe Stunde so wirksam, wie im Sommer ein halber Tag. In Kriegsspitälern, in denen der Krankenstand besonders bei vielen eiternden Flächen nicht sogleich vermindert werden konnte, hat sich das Ausheben der Fenster und nur gelegentlicher Verschluss derselben mit Fensterläden sehr zweckmässig erwiesen. Bekannt sind die Arkaden in Kissingen (1866), in denen die Schwerverwundeten halb im Freien sich am besten befanden. Das Pavillon- und Zeltsystem, aus dem amerikanischen Bürgerkriege stammend, hat die gleiche sanitätische Bedeutung. Es ist für die Erhaltung des Lebens weit besser, dass ein Verwundeter mit starker Eiterung (— ebenso eine Entbundene —) auf offener Strasse liegt, als in einem überfüllten, nicht genügend ventilirten Raume.

Wenn wir manche neugebaute Kranken- oder Gebärhäuser betrachten, so staunen wir, wie wenig man bei Anlage solcher Anstalten noch immer den Anforderungen der Wissenschaft Rechnung trägt. Selbstverständlich ist ein grosser viereckiger Hausstock die schlechteste Form für ein solches Haus. Krankenhäuser sollen stets luftige, besonders schmale Gebäude sein, welche der natürlichen Ventilation möglichst viel ins Freie stehende Wand darbieten, mit grossen Fenstern, denen ein Gegenzug entweder durch gegenüberstehende Ventilationsöffnungen, Fenster oder Thüren, gemacht werden kann; die Front nach Süden gerichtet; moglichst ohne Seitenflügel. Dasselbe Erforderniss gilt für Kasernen, Seminare, Strafanstalten etc.

Die Reinheit und Gesundheit der Luft in Wohnräumen wird nicht allein durch die Ausdünstung des Menschen selbst beeinträchtigt. Ein gesundes Geruchsorgan belehrt uns, dass vor Allem auch die Unrathsstellen in und bei unseren Wohnungen, besonders die **Abtritte** und **Gruben etc.**, die Luft verunreinigen. Und wir dürfen nicht vergessen, dass für unsere Sinne nicht alle Verunreinigungen wahrnehmbar sind. Wir kennen eine Anzahl von giftigen Gasen, z. B. Kohlenoxydgas, die durch Nichts dem Geruchssinn ihre Gegenwart verrathen. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass wir bei näherem Eindringen in die Kenntniss der gasförmigen Stoffe, welche von Fäulnissherden der Luft beigemischt werden, die Zahl der bis jetzt bekannten besonders gefahrdrohenden, weil unmerklichen Gifte noch vermehren müssen.

Der Boden, auf welchem die Häuser stehen, wird durch das Einsickern der menschlichen Abfälle in hohem Maasse mit organischen, faulenden Substanzen imprägnirt. Die Ausdünstungen des Bodens mischen sich beständig der Luft unserer Wohnungen bei; wir athmen und wohnen dadurch in unreiner Luft, die in hohem Maasse schädliche Einwirkungen ausüben kann; v. PETTENKOFER hat neuerdings Untersuchungen über die Zusammensetzung der Luft im Boden (**Grundluft**) angeregt und begonnen, welche schon sehr interessante Aufschlüsse über die im Boden mit wechselnder Energie stattfindenden Oxydationsvorgänge, über deren Zusammenhang mit der Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit gegeben haben. Auch hier dient zunächst die Kohlensäurebestimmung in der Bodenluft als Maassstab für die im Boden vor sich gehenden Zersetzungs- (Fäulniss-) und Oxydationsvorgänge. FLECK hat gezeigt, dass mit der Zunahme der Kohlensäure in der Grundluft der Sauerstoff entsprechend abnimmt. Die Kohlensäure der Grundluft stammt daher aus Oxydationen, welche im Boden

vor sich gehen. Die Kohlensäurebildung findet im Wesentlichen nur in den oberen Bodenschichten statt. Die absoluten Kohlensäuremengen der Grundluft schwanken in verschiedenen Jahren und in dem gleichen Jahre in den verschiedenen Jahreszeiten. Das Minimum des mittleren Kohlensäuregehaltes der einzelnen Monate fällt in den Winter, das Maximum in den Sommer. In rein mineralischem Boden enthält die Grundluft nicht viel mehr Kohlensäure, als die Atmosphäre. Organische Beimischungen zum Boden sind die Quelle einer stetigen Kohlensäurebildung, doch zeigt gedüngter Boden geringere Kohlensäurewerthe, als ungedüngter. Die verschiedenen Bodenarten haben die Fähigkeit, Kohlensäure zu verdichten, letztere geht nur dem trockenen Quarzsand ab. Trockner Boden hat weniger Kohlensäure, als feuchter. Auf Regen folgt zuerst eine Steigerung, dann rasch, wenn Verdunstung eintritt, Abnahme der Kohlensäure (Möller).

Es scheint kaum möglich, aber auch unnöthig, die Vergiftung, die der Boden seit dem Bestehen der Städte und Wohnräume erfahren hat, durch Desinfection des Bodens wieder zu beseitigen. Es unterliegt keinem Zweifel, dass, wenn kein neuer Nachschub von organischen Materien in den Boden gelangt, die darin enthaltenen, krankheiterzeugenden organischen Stoffe nach einer verhältnissmässig kurzen Zeit durch die eindringende Luft zerstört sind. Es kommt also vor Allem darauf an, der Fortsetzung der Verunreinigungen des Bodens zu steuern. Es dürfen die Abwässer der Häuser und Fabriken, die mit organischen Stoffen arbeiten, besonders aber die Exkremente der Thiere und Menschen nicht mehr in den Boden der Städte gelangen, wohin man sie früher systematisch eindringen liess. An einer anderen Stelle wurde schon die wasserdichte Anlage aller Abzugscanäle, die sich besonders durch Cementirung erreichen lässt, als Nothwendigkeit gefordert. Es ist aber einleuchtend, dass auch die Einleitung dieser Abzugscanäle in Flüsse, worauf sie häufig berechnet sind, nicht ganz gefahrlos sein kann, und in Städten wie London und Paris, in denen das gereinigte Flusswasser das einzige Trinkwasser ist, kommt noch die Gefahr der Krankheitsverschleppung durch das Trinkwasser hinzu. Man hat vorgeschlagen, das ursprünglich chinesische System der Abtrittfässer (fosses mobiles) einzuführen, welche die Verunreinigung des Bodens verhindern und die Benutzuug der fraglichen Stoffe für die Landwirthschaft ermöglichen. Das Letztere streben auch das System der Berieselung und die Erdclosets an.

Für die richtige Ventilation der Wohnhäuser ist die Anlage der **Abtritte** von grosser Wichtigkeit. Durch die Abtritte stehen die Häuser gewöhnlich mit den Abtrittgruben, also mit Räumen voll fauliger Substanzen, in directer Luftverbindung. Dasselbe ist der Fall in Küchen durch Ausgüsse, welche direct in ein unterirdisches Canalsystem münden, in denen die Abfälle der Stadttheile weggeschwemmt werden sollen. Im Winter, wenn die Wohnungen geheizt und dadurch wärmer sind, als die Umgebung des Hauses, findet durch diese grossen Oeffnungen ein gewaltiger Luftstrom aus diesen Orten der Verwesung und des Ekels seinen Weg in die Häuser. Der widerliche Geruch, besonders auf Treppen und Vorplätzen in der Nähe der Abtritte — oft sind sie direct neben der Küche!! — gibt uns von dieser Art der ekelhaftesten Lufterneuerung Kenntniss. Jede Lichtflamme, in die Nähe der fraglichen Oeffnungen gehalten, zeigt uns durch ihre Bewegung die Richtung des Luftstromes an, der bei grösseren Temperaturdifferenzen sich bis zum hörbar rauschenden Zugwind steigern kann. Hier bedarf es einer möglichst vollkommenen Abhülfe. Man kann durch Wasser- oder Erdverschluss der Oeffnungen (Wasser-, Erdcloset) das Eindringen der Luft in die Wohnungen verhindern oder die Abtrittluft in den Kamin ableiten.

Die Verunreinigung der Gesammtatmosphäre, welche in einem ungeheuren Strome über unsere Städte, über die ganze Oberfläche der Erde dahinfliesst, durch die schlechte Luft, die wir ihr zuleiten, kann nicht in Frage kommen. Die Verdünnung wird dort eine fast absolute. Die Menge der Luft im Freien, sagt Pettenkofer, und ihre Geschwindigkeit ist hinreichend gross, um ihr ohne Nachtheil für unsere Gesundheit die Ausdünstung aller Abtrittrohre einer Stadt übergeben zu können, welche sofort ebenso verdünnt werden, wie die viel grösseren Mengen Kohlensäure, welche die grosse, mit Steinkohlenfeuer betriebene Fabrikindustrie von Manchester beständig in die Luft haucht, welche über die Stadt zieht,

ohne dass in ihren Strassen und Plätzen selbst nach den empfindlichsten Methoden eine Vermehrung des Kohlensäuregehaltes der Luft nachzuweisen ist. Wenn wir die Verunreinigung der Luft in der Gesammtatmosphäre gestatten, dagegen die unserer Wohnungen so sorgfältig vermieden haben wollen, so erinnern wir uns dabei daran, dass auch im bestventilirten Hause die Luftbewegung noch um das Hunderttausendfache geringer ist, als im Freien. In der Luft des Hauses können sich die gefahrbringenden, gasförmigen Stoffe in merklicher Quantität anhäufen, während das in der stets bewegten Gesammtatmosphäre nicht möglich ist. PETTENKOFER berechnet, dass ein Mensch, welcher im Zimmer das Normalquantum Luft, also 60 Cubikmeter in der Stunde erhält, im Freien, bei einer mittleren Luftgeschwindigkeit von 10′ in der Secunde (München), 202500 Cubikmeter erhalten würde. Bei Windstille ist die Bewegung der Luft immer noch 2′ in der Secunde, bei stärkstem Sturme (Hurrican) geben ältere Beobachtungen die Windgeschwindigkeit auf 146,7′ an.

Ammoniakgehalt der Luft. — Nach P. TRUCHOT's Bestimmungen betrug der Ammoniakgehalt in 1 Cubikmeter Luft bei 0° und 760 mm Druck auf einem 395 m über dem Meeresspiegel gelegenen Beobachtungsort im Sonnenschein im Maximum 1,12 Milligramm, bei leichtem Regen 2,43 Milligramm; auf einem viel höher (1884 m) gelegenen bei Sonnenschein 5,27 Milligramm, bei Nebel 5,55 Milligramm, also beträchtlich mehr.

Methode der Kohlensäurebestimmung in der Luft.

Die Methode der Kohlensäurebestimmung nach PETTENKOFER beruht darauf, dass Alkalien die Kohlensäure begierig absorbiren. Wenn man ein abgeschlossenes Volumen Luft in einer Flasche, z. B. mit Kalkwasser oder noch besser mit Barytwasser längere Zeit schüttelt, so entsteht von dem sich bildenden kohlensauren Baryte oder Kalke eine weisse Trübung der eingegossenen Flüssigkeit und die Luft wird vollkommen kohlensäurefrei. Hat man in einem dem eingegossenen Volum gleichen Volum des Kalk- oder Barytwassers vorher durch eine Säure, am besten Oxalsäure, den Alkaligehalt bestimmt, indem man prüfte, wie viel Oxalsäure zugesetzt werden musste, bis die Flüssigkeit eben gelbes Kurkumapapier nicht mehr bräunte, also neutral reagirte, so wird nach dem Schütteln mit Luft das nun theilweise mit Kohlensäure gesättigte gleiche Volum der sonst gleichen Flüssigkeit weniger Oxalsäure zur Neutralisirung bedürfen.

Die Neutralisirung geschieht nach der Methode der Titrirung. Man bereitet sich dazu zuerst eine Normalsäurelösung, deren Gehalt an Säure man so genau kennt, dass man ihn für jeden Theil eines Cubikcentimeters angeben kann. Man wiegt zu diesem Zwecke von reiner, krystallisirter, einige Stunden mit einer Glasglocke gedeckt über concentrirter Schwefelsäure gestandener Oxalsäure, welche die Eigenschaft hat, trocken an der Luft weder Wasser anzuziehen, noch abzugeben, mit genauen Gewichten auf einer feinen chemischen Waage 2,8636 Gramm ab und bringt sie in 1 Liter destillirtes Wasser von 12—16° C. Nach erfolgter Mischung und Lösung ist die Säure zum Gebrauch fertig. Es entspricht nun genau 1 cc der Säure einem Milligramm Kohlensäure, und wenn man weiss, wie viele Cubikcentimeter dieser Oxalsäurelösung man zum Neutralisiren eines Barytwassers gebraucht, so weiss man auch, wie viele Milligramme Kohlensäure man dazu nöthig gehabt hätte. — Zur Bereitung der Barytlösung wird Aetzbaryt in einer Flasche mit destillirtem Wasser übergossen und lange und stark geschüttelt. Nach einigem Stehen hat er sich geklärt durch Absetzen des ungelösten Barytes. Ist die Lösung mit Baryt gesättigt, so verdünnt man sie zum Gebrauch etwa auf das Dreifache. Man hat zweckmässig zwei verschieden starke Barytlösungen, die eine starke, von welcher 30 cc etwa 90 Milligramm Kohlensäure zur Neutralisirung bedürfen, und eine schwache, von welcher 30 cc nur etwa 30 Milligramm Kohlensäure entsprechen. Die letztere ist für die vorliegenden Bestimmungen am passendsten.

Zur Ausführung der Bestimmung, wie viel Normalsäure zur Neutralisirung einer bestimmten Menge unserer Kalk- oder Barytlösung erforderlich ist, bedarf man nun noch an chemischen Instrumenten:

1) eine MOHR'sche Burette mit Quetschhahn, deren Theilung ca. 50 cc umfasst, und an der

jeder Cubikcentimeter in 5 Theile getheilt ist, so dass man von 0,2 cc zu 0,2 cc fortschreitend die Säure in die alkalische Lösung ausfliessen lassen kann;

2) zwei Saugpipetten, von welchen die eine genau 30 cc aus einer Flüssigkeit herauszusaugen erlaubt, die andere 45 cc. Man verwendet 45 cc Barytlösung zur Absorption und titrirt davon 30 cc nach und rechnet dann auf 45 cc;

3) mehrere Medicingläschen von ca. 3 Unzen = 90 cc Inhalt;

4) einen langen Glasstab.

Zur Bestimmung hebt man mit der Saugpipette 30 cc Kalkwasser oder Barytwasser aus, und lässt sie in eines der Medicingläschen fliessen.

Die Burette, die in einem Burettenständer befestigt ist, hat man schon vorher bis zum obersten Theilstriche (0 cc) mit der Normalsäure gefüllt. Nun lässt man durch Oeffnen des Quetschhahnes von der Säure in das Kalk- oder) Barytwasser fliessen. (30 cc gesättigtes Kalkwasser erfordern zwischen 34—39 cc der Oxalsäurelösung; bei Barytwasser ist es gut, sich eine ähnliche starke Lösung durch zweckmässiges Verdünnen der gesättigten Lösung herzustellen. Man nähert sich sehr vorsichtig dem Punkte (indem man in seiner Nähe nur von Zehntel zu Zehntel Säure zufliessen lässt und immer wieder auf dem gelben Papiere prüft), an welchem die alkalische Reaktion verschwindet, ohne dass noch die saure aufgetreten wäre. Bevor man einen Tropfen zur Prüfung auf die Reaktion herausnimmt, muss die Flüssigkeit natürlich gut geschüttelt werden. Man verschliesst dazu mit dem Daumen die Oeffnung des Gläschens und schüttelt stark; der Daumen wird dann am Rand des Gläschens rein gestrichen, so dass die anhaftende Flüssigkeit in das Gläschen zurückfliesst. Die Reaktionsprüfung geschieht so, dass man mit einem reinen Glasstab einen Tropfen aus der Flüssigkeit herausnimmt und auf empfindliches Kurkumapier bringt. Im Umkreise des Tropfens färbt sich das Papier braun, es entsteht ein mehr oder weniger deutlich rothbrauner Ring, so lange die alkalische Reaktion noch vorhanden ist. An der Grenze der Neutralisirung bedarf es einiger Aufmerksamkeit und Uebung, um zu entscheiden, ob nun eben keine bräunliche Färbung mehr sichtbar ist.

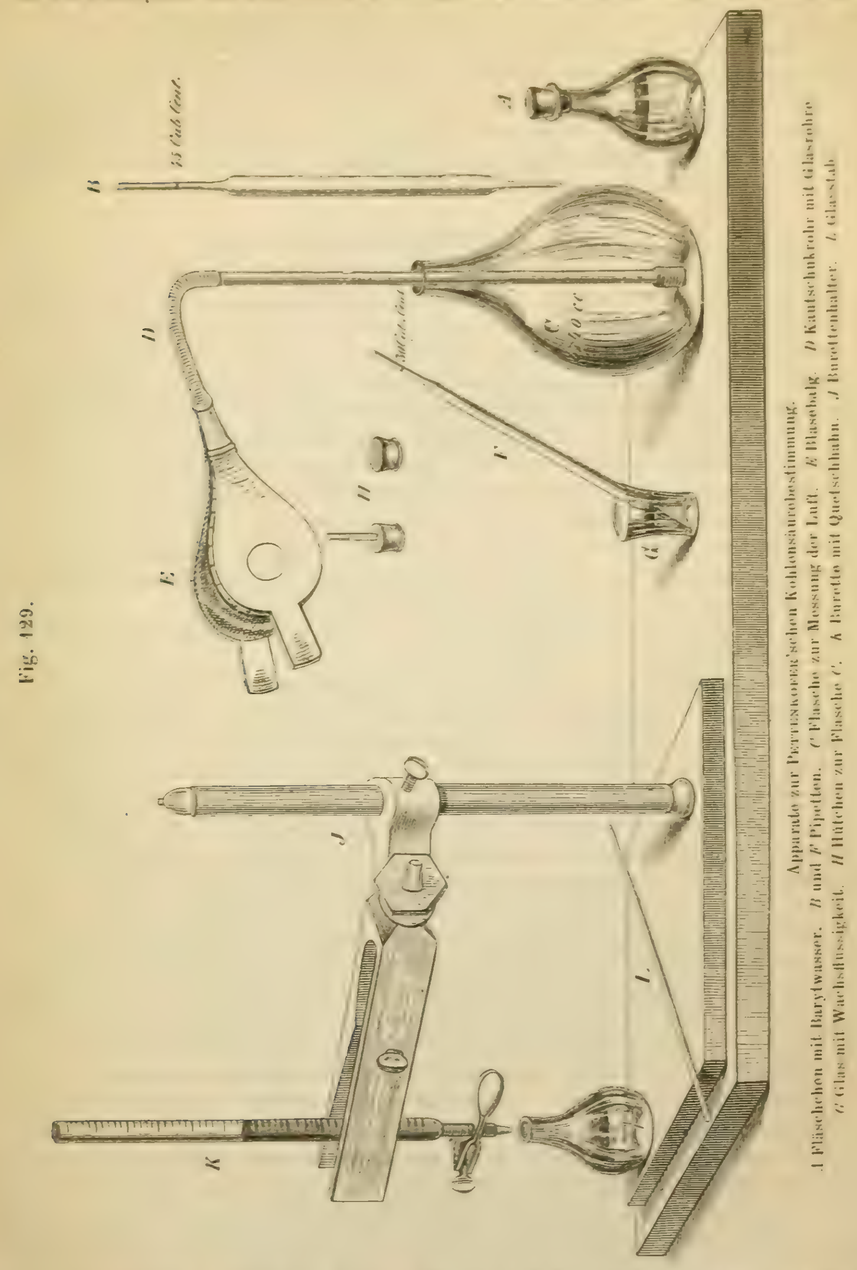
Um die Kohlensäure in der Luft mit Sicherheit zu bestimmen, genügen 6 Liter selbst für Luft aus dem Freien, welche nur 0,5 Vol. pro Mille Kohlensäure enthält. Für die Bestimmung in stark bewohnten Räumen genügen als Versuchsmenge 3 Liter Luft. Man wählt dazu Glaskolben oder Wasserflaschen mit einem so weiten Halse, dass eine längliche, 45 cc fassende Saugpipette bequem hineingehalten werden kann. Der überstehende Rand des Halses wird am besten horizontal abgeschliffen und der Rauminhalt der Flasche durch Ausmessen mit destillirtem Wasser, das man aus einem Messgefäss, welches in Cubikcentimeter getheilt ist, einfliessen lässt, möglichst genau bestimmt. Auch die Temperatur des Wassers muss bestimmt werden. Die Kalibrirung der Flasche kann auch durch Wägung geschehen, indem man zuerst die ganz trockene Flasche leer, dann mit destillirtem Wasser bis an den Rand gefüllt, abwiegt. Die Gewichtszunahme gibt mit Berücksichtigung der Temperatur das Volum an.

Zur Füllung der Flasche mit Luft bedient man sich eines kleinen Handblasebalges, an dessen Ausblaserohr man ein Kautschukrohr angesteckt hat, das bis auf den Grund der Flasche reicht. Ein kleiner Blasebalg fördert durch einen Stoss etwa 1/2 Liter Luft; um die Flasche mit der zu untersuchenden Luft anzufüllen, muss man bei 6 Liter Flascheninhalt 60 mal einblasen, bei 3 Liter Inhalt also 30 mal. Wenn dieses geschehen ist, so bringt man mit eine Saugpipette, die man ziemlich tief in die Flasche hält, 45 cc Kalk- oder Barytwasser in die Flasche und verschliesst luftdicht, am einfachsten mit einer eng anschliessenden Kautschukklappe. Man liest nun Thermometer- und Barometerstand ab, um das in der Flasche eingeschlossene Luftvolum (welches selbstverständlich nach dem Eingiessen von 45 cc Barytwasser um dieses Volum kleiner ist, als die Zahl der Cubikcentimeter, die auf der Flasche stehen) auf 0° und 760 mm Barometerstand reduciren zu können. Nun bringt man die Flasche in eine fast horizontale Lage und schwenkt sie so, dass das Barytwasser den grössten Theil der Wandungen des Glases benetzt. Diese Bewegung wiederholt man zeitweise. Bei schlecht

ventilirten Räumen genügt $\frac{1}{2}$ Stunde, für Luft aus dem Freien 2 Stunden, um alle Kohlensäure zu absorbiren.

Ist die Absorption der Kohlensäure beendigt, was man durch fleissiges Schwenken der

Fig. 129.



Apparate zur PETTENKOFER'schen Kohlensäurebestimmung.
A Fläschchen mit Barytwasser. B und F Pipetten. C Flasche zur Messung der Luft. E Blasebalg. D Kautschukrohr mit Glasröhre. G Glas mit Wachsflüssigkeit. H Hütchen zur Flasche C. K Burette mit Quetschhahn. J Burettenhalter. L Glasstab.

Flasche beschleunigen kann, so wird durch Titriren mit der nämlichen Säure, mit welcher man den Alkaligehalt der 30 cc der frischen Lösung ermittelt hat, auch die Alkalinität von 30 cc des zur Absorption der Kohlensäure verwendeten Barytwassers bestimmt. Zu diesem Behufe

giesst man dasselbe aus der Flasche in ein enges Becherglas. Um dasjenige, was an den Wänden der Flasche hängen bleibt, nicht sammeln zu müssen, wendet man zur Absorption 45 cc an, und misst von diesen 30 cc ab, die man genau auf die gleiche Weise in einem Medicinfläschchen neutralisirt, wie dieses oben beschrieben wurde. Wir werden dazu aber um einige Cubikcentimeter weniger Normalsäure verbrauchen, als für die frische alkalische Lösung, da in dieser ja nun einiger Kalk oder Baryt durch Kohlensäure neutralisirt ist. Jeder Cubikcentimeter Säure, den wir nach der Absorption weniger bis zur Neutralisation zusetzen müssen, entspricht 1 Milligramm Baryt, an welches Kohlensäure sich gebunden hat. Aus der Bestimmung in den 30 cc rechnet man auf die 45 zur Absorption verwendeten, indem man einfach die Hälfte der in 30 cc gefundenen Kohlensäure noch zuaddirt. —

Anhang.

Beeinflussung der Athmung durch verschiedene Gase und Dämpfe. — Der Stickstoff der atmosphärischen Luft kann ohne Beeinträchtigung der Athmung und der Gesundheit durch Wasserstoff und Sumpfgas ersetzt werden. Die Respirationsbewegungen werden verändert durch alle sauren und ätzenden Gase und Dämpfe, die durch sie veranlasste Reizung der Schleimhaut des Kehlkopfs und der Luftröhren hemmt die Einathmung und ruft krampfhafte Ausathembewegungen: Husten hervor, auch sehr hoher Kohlensäuregehalt der eingeathmeten Luft wirkt ähnlich. Die eigentlich giftigen Gase: Schwefelwasserstoff, Phosphorwasserstoff, Kohlenoxyd, Stickoxydul u. a. ändern die Athembewegungen erst, wenn sie auf ein Mal in sehr grosser Menge geathmet werden. Kohlenoxyd ist besonders darum so gefährlich, da seine Anwesenheit sich dem Geruchssinn an sich nicht bemerkbar macht. Die Verbindung des Haemoglobins mit Kohlenoxyd setzt die Kohlensäureausgabe in der Athmung herab, das letztere wird auch von Morphium (Bauer und v. Boeck), Kurare, Alkohol behauptet (cf. oben Blutgase).

Den Nachweis von **Kohlenoxydgas** in der Luft führt H. W. Vogel optisch mit verdünntem Blut (S. 408).

G. v. Liebig's mechanische Theorie der Bergkrankheit (cf. S. 549, 550). — Nicht Veränderungen der Sauerstoffaufnahme in das Blut, sondern Veränderungen in der Athemmechanik sind der Grund, warum die Mehrzahl der unter einem höheren Luftdruck aufgewachsenen Menschen eine Verminderung des Luftdrucks um 300 mm nicht ohne Beschwerden ertragen kann; ihre Lungen sind nicht im Stande, unter einer solchen Druckverminderung schon gleich anfangs ihre Thätigkeit in normaler Weise fortzusetzen. Es ist hauptsächlich die elastische Wirkung des Lungengewebes, die durch die Verminderung des Luftdruckes und zwar in entgegengesetzter Weise für Einathmung und Ausathmung beeinflusst wird. Die normale Ausathmung erfolgt durch die Elasticität des durch die Einathmung ausgedehnten Lungengewebes, unterstützt durch die elastischen Wirkungen der ebenfalls dadurch ausgedehnten Brust- und Bauchwand. Die ausströmende Luft findet aber in der Dichtigkeit der Atmosphäre einen Widerstand, welcher ihre Geschwindigkeit vermindert; je höher der atmosphärische Druck ist, je dichter mit anderen Worten die Luft, in welche ausgeathmet wird, desto mehr wird die (elastische) Zusammenziehung der Lunge verzögert e. v. v. Unter erhöhtem Druck wird daher die Zeit der Ausathmung verlängert, unter vermindertem Druck verkürzt. Umgekehrt ist das Verhältniss bei der Einathmung. Die Ausdehnung der Lunge bei der Einathmung erfolgt normal durch die Wirkung der Athemmuskeln, jedoch wesentlich unterstützt durch die Wirkung des Luftdrucks. Je stärker der Luftdruck ist, desto rascher vermag die einströmende Luft die Lungenelasticität zu überwinden, die Lunge auszudehnen. Die Einathmung bei hohem Luftdruck vollzieht sich sonach etwas rascher, bei niedrigem langsamer. Bei stärker verdünnter Luft muss die beständige Wiederkehr einer Verzögerung, welche die vollständige Befriedigung des Athembedürfnisses erschwert, besonders bei körperlicher Anstrengung, endlich eine Ermüdung der vergeblich angestrengten Athemmuskeln und damit alle die als Bergkrankheit bekannten Erscheinungen hervorrufen. G. v. Liebig's Theorie vermag ebenso die günstige Wirkung verdichteter wie mässig verdünnter Luft zu erklären.

Funfzehntes Capitel.

Die Nieren und der Harn.

Der Harn.

Wie die Lungen der Ausscheidung des gasförmigen Wassers und der Kohlensäure, so dienen die Nieren der Entfernung des tropfbar flüssigen Wassers und der festen, löslichen Auswurfsstoffe des Organismus. In ihnen wird das Blut in die physikalischen Bedingungen versetzt, unter denen es die ihm aus dem Umsatz der Gewebe beigemischten, meist krystallisirbaren und leicht diffundirbaren Stoffe, welche zum grossen Theil für den Organismus ebenso wie die Kohlensäure Gifte sind, abgeben kann. Das Aussetzen der Nierenthätigkeit führt, wie die Sistirung der Lungenthätigkeit, wegen der mangelnden »Entgiftung« des Blutes zum Tode. Bei den Nieren finden wir, wie bei den Lungen, Hülfsorgane, welche ihre Ausscheidung unterstützen und zum Theil übernehmen können. Es sind dieselben, die wir als Hülfsorgane der Lungenathmung kennen lernten: Haut und Darm.

Die Stoffe, die im Harne den Organismus verlassen, sind theilweise wahre Exkrete. Zum Theil sind sie überschüssig als Nahrungsstoffe in den Organismus eingeführt und verfallen nur durch die Wirkung der in den Nieren gegebenen mechanischen Bedingungen der Ausscheidung: es sind dies vorzüglich das Wasser, ein Theil der Salze und die geringe, im Harn enthaltene Sauerstoffmenge. Das Wasser wird aber als Lösungsmittel der Harnbestandtheile auch dann noch, aber in verminderter Menge, in den Nieren abgegeben, wenn es nicht überreichlich zugeführt wird. Ein dritter Antheil der Stoffe im Harne entstammt direct den in den Nieren vor sich gehenden Stoffumsetzungen. Gewisse mit der Nahrung eingeführte Stoffe gehen regelmässig und vollkommen in den Harn über und verändern auf kürzere oder längere Zeit seine chemische Zusammensetzung.

Der Harn ist nach dem Gesagten eine sehr zusammengesetzte Flüssigkeit. Nehmen wir die Zusammensetzung als die normale an, die er zeigt bei gewöhnlicher, gemischter Kost oder dann, wenn dem Körper alle Nahrung entzogen ist und er nur von seinen Organbestandtheilen zehrt, so sind als normale Bestandtheile des Harns aufzuzählen (in den Quantitäten, in welchen sie bei gewöhnlicher Ernährung auftreten): vor Allem Wasser (500—2000 Gramm im Tage), vorzüglich je nach der Menge des Getränks schwankend, und in diesem gelöst als Hauptbestandtheil Harnstoff (im Tage zwischen 30—40 Gramm) in

weit kleineren, wechselnden Mengen (meist unter 1 Gramm im Tage). Kreatinin (und Kreatin), Harnsäure, Hippursäure, gepaarte Schwefelsäuren, stickstoffhaltige Kryptophansäure, Farbstoffe, sehr geringe Quantitäten von Zucker (?), Fetten (?) und Ammoniak und chemisch zum Theil noch nicht bestimmte, sogenannte Extraktivstoffe; dazu dann die anorganischen Salze des Blutes, mit den Metallen Natrium, Kalium, Calcium, Magnesium, gebunden an Chlor, Schwefelsäure, Phosphorsäure und Kohlensäure; auch Gase finden sich im Harne gelöst: Sauerstoff, Stickstoff und Kohlensäure. Die Reaktion des frischen Harnes ist meist deutlich sauer (von saurem phosphorsaurem Kali und Natron). Die Farbe des Harns ist ein helleres oder dunkleres Gelb; man bemerkt an ihm einen eigenthümlichen aromatischen, mit der Nahrung wechselnden Geruch. Gewöhnlich ist dem Harn aus den Schleimdrüsen der Harnwege etwas Schleim beigemischt, der sich als Wölkchen bei längerem Stehen des entleerten Harns absetzt. Specifische Formelemente fehlen ihm gänzlich, das Mikroskop findet nur zufällige Beimischungen auf: abgestossene Blasenepithelzellen, im Schleime Schleimkörperchen, nach Samenentleerungen Samenfäden, bei menstruirenden Frauen Blutkörperchen. Der wechselnden Zusammensetzung entsprechen Schwankungen des specifischen Gewichtes: normal etwa zwischen 1005 und 1030, das Gewicht des Wassers = 1000 gesetzt.

Die Nieren und Harnwege.

Fig. 130.



Ein Schnitt aus der Mitte der Niere eines Kindes. *a* Ureter, *b* Nierenbecken, *c* Nierenkelche, *d* Papillen, *e* Malpighi'sche Pyramiden, *f* Ferrein'sche Pyramiden, *g* Septa Bertini, *h* äussere Theile der Rindensubstanz.

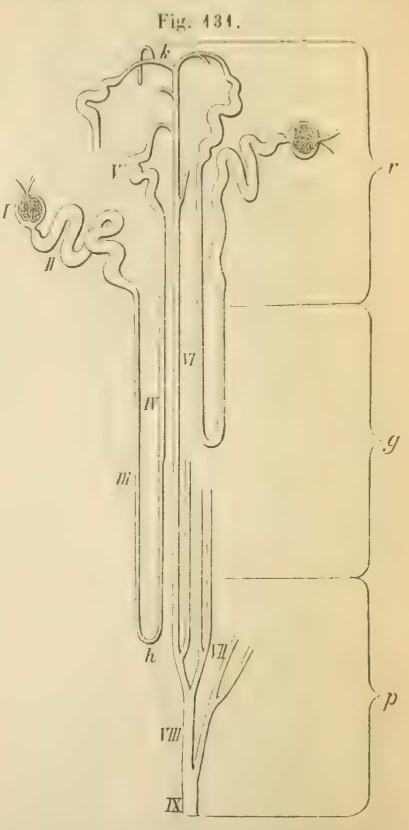
Die Organe für die Harnausscheidung bestehen aus den Harn abscheidenden Drüsen, den beiden Nieren, und den Harnwegen: den Harnleitern, Harnblase und Harnröhre.

Die Nieren liegen in lockeres, meist sehr fetthaltiges Bindegewebe eingebettet. Ihre eigentliche Drüsensubstanz wird von einer fibrösen Kapsel umschlossen: Tunica propria, aus Bindegewebe mit elastischen Fasern bestehend. Mit freiem Auge sieht man die Drüsensubstanz in zwei gesonderte Schichten zerfallen, in Mark- und Rindenschicht. Die erstere ragt mit 8—15 grösseren, kegelförmig sich zuspitzenden Warzen, den Malpighi'schen Pyramiden, in das Nierenbecken herein. Die Rinde bildet den von dem Hilus abgewendeten Theil der Oberfläche des Organes und setzt sich zwischen die Pyramiden, diese von einander trennend, in schmaler Schicht als Bertini'sche Säulen, Columnae Bertini, fort. Functionell gehört zu jeder Pyramide ein Abschnitt Rindensubstanz, auch das Mikroskop und die Entwickelungsgeschichte weisen die Zusammengehörigkeit nach, so dass, auch wenn zwischen diesen Abschnitten sich nicht, wie bei anderen Drüsen mit lappigem Baue Bindegewebseinlagerungen finden, die Niere

doch aus so viel zusammengehörigen Lappen zusammengesetzt erscheint, als sie Pyramiden besitzt (Fig. 130).

Die Hauptmasse sowohl der Rinden- wie der Marksubstanz bilden Blutgefässe und engere und weitere cylindrische, röhrenförmige Drüsenschläuche, die Harnkanälchen, Tubuli uriniferi, welche im Mittel im Durchmesser etwa 0,035—0,065 mm messen. Sie beginnen in der Rindensubstanz mit kugeligen, blasigen Ausbuchtungen, die im Innern je einen Gefässknäuel bergen; es sind dieses die sogenannten Malpighi'schen Körperchen oder Kapseln, die etwa 0,13 — 0,22 mm messen und mit einer verengten Stelle in ihr Harncanälchen übergehen. C. Ludwig hat ihren Verlauf auf das Genaueste untersucht. In der Rindensubstanz verlaufen die weiteren Harncanälchen anfänglich sehr geschlängelt als sogenannte gewundene Harncanälchen, Tubuli contorti, gegen die Grenze des Marks. Dort verengert sich jedes Röhrchen rasch und dringt als eine gestreckt verlaufende enge Canalschleife (Henle) in das Mark ein, erhebt sich wieder zur Rinde, schwillt dort wieder zu dem Lumen der gewundenen Canälchen an (Schaltstück) und tritt nun in einem convexen Bogen mit anderen ziemlich demselben Orte zustrebenden Röhrchen unter nochmaliger Verengerung zu einem einfachen geraden Rohre (Sammelrohr) zusammen. Die Sammelröhren verlaufen gestreckt bis zum Papillartheil des Marks, wo sie sich unter spitzem Winkel mit anderen Sammelröhren je zwei und zwei verbinden. Die beistehende Abbildung macht diesen Verlauf anschaulich (C. Ludwig). Diese gestreckt verlaufenden weiteren Canälchen (Hauptröhren), welche mit den Sammelröhren die geraden Harncanälchen, Tubuli recti, heissen, vereinigen sich unter spitzem Winkel von Neuem je zu zweien oder mehreren zu immer weiteren Canälchen, bis sie schliesslich auf 200—300 Papillengänge, Ductus papillares, 0,052 bis 0,22 mm im Durchmesser, zusammengeschmolzen an der Papille ausmünden (Fig. 131). Verfolgen wir die Ductus papillares in umgekehrter Richtung nach

Fig. 131.



Schematische Darstellung des Verlaufes der Harncanälchen; Menschenniere. *p* Papillarschicht, *g* Grenzschicht des Markes, *r* Rinde. Kapsel des glomerulus *I*, der durch den Hals in das bogig gewundene Canalstück *II* übergeht. Dieses spitzt sich an der Mark-Rindengrenze in den absteigenden Schlingenschenkel *III* zu, und geht als solcher durch Henle's Schleife (*h*) in den aufsteigenden Schlingenschenkel *IV* über. An diesen schliesst sich das Schaltstück *V*, welches durch den äusseren Bogen an die Krone (*k*) des Sammelrohrs *VI* übergeht. Das Sammelrohr verbindet sich mit den benachbarten desselben Markstrahls *VII* zum Hauptrohr *VIII* und dieses endlich mit anderen Hauptröhren zum ductus papillaris *IX*.

aufwärts, so sehen wir sie durch fortgesetzte spitzwinkelige Theilung, wobei die Röhrenzweige sehr an Dicke abnehmen, in ein Bündel feiner Röhren übergehen, die von der Papille her in das Mark- und Rindengewebe ausstrahlen und als FERREIN'sche Pyramiden beschrieben werden. Jedes Büschel steigt gemeinschaftlich auf, und seine Röhrchen bilden, auch wenn sie den gestreckten Verlauf mit einem gewundenen vertauschen, stets noch eine, wenn auch nicht vollständig abgegrenzte, durch die ganze Rinde hindurch zu verfolgende säulenförmige Masse, Fasciculus corticalis, FERREIN'sche Pyramide. C. LUDWIG nennt die Verästelung je eines Hauptrohrs (cf. die Abbildung Fig. 131) Primitivkegel, sie ist rings in allen Höhen der Rinde mit MALPIGHI'schen Kapseln umgeben, in welche sich die gewundenen Canälchen einsenken; eines um das andere verläuft aus dem büschelförmigen Knäuel nach aussen, um mit seinem MALPIGHI'schen Körperchen zusammen zu treffen. In der Mitte der Rindenbündel verlaufen die Canälchen noch mehr oder weniger gestreckt; ehe sie sich seitlich zu den MALPIGHI'schen Körperchen wenden, biegen sie erst noch schlingenförmig nach unten in die Marksubstanz aus, steigen dann wieder nach aufwärts und senken sich in je ein MALPIGHI'sches Körperchen ein (KÖLLIKER) (Fig. 132).

Fig. 132.



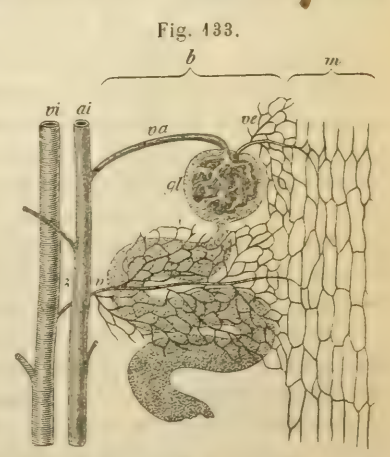
Senkrechter Schnitt durch einen Theil der Pyramide und der dazu gehörenden Rindensubstanz einer eingespritzten Kaninchenniere. Halbschematische Figur. Vergr. 30. Links sind die Gefässe, rechts der Verlauf der Harncanälchen dargestellt. *a* Arteriae interlobulares mit den Glomeruli Malpighiani *b* und ihren Vasa afferentia, *c* Vasa efferentia, *d* Kapillaren der Rinde, *e* Vasa efferentia der äussersten Körperchen, in die Kapillaren der Nierenoberfläche übergehend, *f* Vasa efferentia der innersten Glomeruli, in die Arteriolae rectae *ggg* sich fortsetzend, *h* Kapillaren der Pyramiden, aus den letzteren sich bildend, *i* eine Venula recta an der Papille beginnend, *k* Ductus papillaris oder Anfang eines geraden Harncanälchens an der Papille, *l* Theilungen desselben, *m* gewundene Canälchen in der Rinde, nicht in ihrem ganzen Verlaufe dargestellt, *n* dieselben an der Nierenoberfläche, *o* Fortsetzung derselben in die geraden Canälchen der Rinde, *p* Verbindung derselben mit MALPIGHI'schen Kapseln.

Die Harncanälchen bestehen (C. LUDWIG) aus einer Membrana propria, die innen mit einem Epithel ausgekleidet ist. Die Umhüllungshaut erscheint meist gleichartig. Die einschichtigen Epithelzellen verhalten sich nach den verschiedenen Abschnitten der Harncanälchen verschieden, nur die scharfbegrenzte Gestalt der kugligen Kerne ist überall gleich. In den bogig gewundenen Canälchen (auch im Schaltstück) sind die Zellgrenzen undeutlich, die Kerne scheinen in eine sulzige undurchsichtige Masse eingebettet,

zwischen der sich unregelmässige Spalten zeigen. Das Protoplasma des Epithels ist körnig, reich an Fetttröpfchen. In den verengten Stellen an den Grenzen der Schleife findet sich ein helles »mageres« Epithel, die Zellen liegen nachgiebig übereinander an den erweiterten Grenzen der Schaltstücke. Die Tubuli recti haben Cylinderepithel, die Ductus papillares haben keine Grenzmembran mehr. Kugelige, meist scharf abgegrenzte Zellen finden sich auch in den MALPIGHI'schen Kapseln. Die Zellen überziehen das Gefässknäuel in der Kapsel auch an der Stelle, wo sich diese der Höhlung der Röhrchen zuwenden.

Sehr bemerkenswerth ist das Verhalten der **Nierenblutgefässe**; nachdem die kleinen Arterien zu einem reichen Knäuel feiner Gefässe (Wundernetz) in den MALPIGHI'schen Kapseln zerfielen, treten sie wieder zusammen zu Gefässchen, in ihrer Dignität und wohl wenigstens zum Theil auch dem Baue nach Arterien, die erst im weiteren Verlaufe sich zu eigentlichen Kapillaren auflösen, aus denen die wahren Venen hervorgehen. Die Nierenarterie zerfällt im Nierenbecken in Zweige, welche in die zwischen den MALPIGHI'schen Pyramiden gelegenen Corticalsäulen (Columnae BERTINI) eintreten und sich in zierlicher Weise im Umfange der Pyramiden verästeln. Aus jenem Theil dieser Verästelung, der an die Rindensubstanz angrenzt, treten sehr regelmässig fast rechtwinkelig Aestchen ab, die sich noch weiter theilen. Ihre feinen Zweige (0,13—0.22 mm) verlaufen zwischen den beschriebenen Röhrchenbündeln der Rindensubstanz, geraden Wegs nach aussen: man bezeichnet sie nach KÖLLIKER als Arteriae interlobulares. Sie tragen wie Beeren die MALPIGHI'schen Knäuel, in deren Bildung sie meist ganz aufgehen. Jede solche kleine Interlobulararterie gibt in ihrer ganzen Länge sehr feine Zweige nach allen Seiten ab, die trotz ihrer Feinheit (0.015—0,044mm) noch den Bau der Arterien haben. Diese feinen Arterienzweige gelangen, nachdem sie manchmal vorher noch einen kleinen, in Kapillaren sich auflösenden Zweig abgegeben, an die MALPIGHI'schen Kapseln heran, treten in deren Hüllenmembran ein, um sich in den beschriebenen dichten Knäuel feiner Gefässchen aufzulösen. In Beziehung auf die MALPIGHI'schen Körperchen wird das Blut zuführende Gefäss als Vas afferens bezeichnet. Es spaltet sich nach seinem Eintritt in fünf bis acht Aeste, welche noch weiter zu einem Büschel von Gefässchen zerfallen, die in vielfachen Windungen, ohne sich netzförmig zu verbinden, in einander geflochten, endlich in derselben Art, wie sie sich theilten, wieder zu einem einfachen Stämmchen, dem Vas efferens, sich vereinigen. In der grossen Mehrzahl der Fälle treten die zu- und abführenden Gefässe an derselben Stelle in die Kapsel ein und aus, und zwar meistens dem Ursprung des Harncanälchens gegenüber (Fig. 133). Die Vasa efferentia sind

Fig. 133.



Verlauf der Blutgefässe im Körper der Rinde (Schematisch). Raum des Markstrahls, *m* Raum der bogig gewundenen Gänge *b*, *ai* Arteria interlobularis, *vi* Vena interlobularis, *va* vas afferens glomeruli, *ve* vas efferens glomeruli. *gl* glomerulus. *vs* Venenzweig der Interlobularvene.

sonach noch keine Venen, sondern feine Arterien, die erst im weiteren Verlauf ihr Kapillarnetz bilden, nach C. LUDWIG mangelt ihnen die arterielle Muskelringhaut. Die Vasa efferentia erscheinen meist etwas enger, als die Vasa afferentia. In der Rindensubstanz spalten sich die Vasa efferentia nach kurzem Verlauf in ein reiches Netz von Kapillaren, dessen rundliche oder eckige Maschen die gewundenen Harncanälchen rings umspinnen. Anders als das oben beschriebene Verhalten der Rindengefässe ist das der Markgefässe. Die Vasa efferentia der an die Marksubstanz grenzenden MALPIGHI'schen Kapseln sind meist weiter, als die oben beschriebenen und senken sich zwischen die geraden Harncanälchen in langgestrecktem, geradlinigem Verlaufe ein und werden als Arteriolae rectae bezeichnet. Sie verästeln sich, bevor sie die eigentlichen Papillen erreichen, spitzwinkelig, so dass sie den Verlauf der gestreckten Harncanälchen nachahmen. Die Kapillaren, die sie bilden, stammen von rechtwinkelig abgehenden feinen Zweigen und bilden ein wenig dichtes Netz langgestreckter rechtwinkeliger Maschen. An der Grenze zwischen Rinden- und Marksubstanz hängt das reichliche rundlich-eckige Maschennetz der gewundenen Canälchen direct mit diesem rechtwinkeligen sparsamen Netze zusammen. Ein Theil der A. rectae geht aus denselben Aesten der Nierenarterie hervor, aus denen die A. interlobulares entspringen, man erkennt diese an ihrer Muskelringhaut. Der verhältnissmässige Mangel an Kapillaren an den gestreckten Canälchen spricht dafür, dass der Hauptverkehr mit dem Blute neben den MALPIGHI'schen Körperchen den gewundenen Canälchen zukommt. — Die Venen. An der Oberfläche der Niere entstehen durch das Zusammentreten der zwischen den neben einander liegenden Nierenläppchen (FERREIN'sche Pyramiden) verlaufenden kleinen Venenwurzeln sternförmige Figuren: die VERHEYN'schen Sterne (Stellulae Verheynii). Die daraus hervorgehenden stärkeren Venenstämmchen senken sich zwischen den Läppchen in die Tiefe und verlaufen mit den Interlobulararterien, nehmen die ihnen begegnenden kleineren Venen aus dem Innern der Rinde in sich auf und vergrössern sich dadurch. Sie treten dann unter meist spitzem Winkel mit anderen Venen zusammen und verlaufen mit den grösseren Arterien der Pyramiden, und zwar so, dass jede Arterie nur von je einer Vene begleitet wird. Alle Nierenvenen sind klappenlos. Ehe sie mit den Arterien und auf dieselbe Weise, wie diese die Nieren verlassen, nehmen sie noch das Blut der Papillarvenen auf, die in zierlichem Netze die Oeffnung der Harncanälchen an den Papillen umspinnen.

Ausser diesen der Absonderung dienenden Gefässen besitzt die Niere noch andere für ihre Gewebsernährung, die von der Nierenarterie, ehe sie in den Hilus eintritt, von der Nebennieren- und Lendenarterie sowie von der A. phrenica abgegeben werden. Ob sie, wie angegeben wird, nur die Nierenhüllen versorgen, oder ob sie das gesammte Organ in ähnlicher Weise selbständig ernähren, wie die Ernährungsgefässe der Lunge, ist nicht entschieden. Dass die Arterien, welche der Absonderung vorstehen, überdies auch noch zur Ernährung des Organes dienen können, scheint daraus hervorzugehen, dass die Interlobulararterien hier und da auch noch feine Zweige an die Hüllorgane der Niere abgeben.

Die **Saugadern** der Niere konnte KÖLLIKER bis zu den Interlobulargefässen verfolgen. Die grösseren Stämmchen verlaufen mit den grösseren Blutgefässen.

Im Hilus vereinigen sie sich zu einigen Stämmchen, nehmen noch die Lymphgefässe aus dem Nierenbecken auf und laufen zu den Lendenlymphdrüsen. Nach Ludwig und Zawarykin verlaufen die reichlichen parenchymatösen Lymphbahnen in den Interstitien des unter der Kapsel befindlichen Bindegewebes. Sie stehen mit den Lymphgefässen der Kapsel in Verbindung und dringen zwischen die Harncanälchen herein. Die aus der Rinde ableitenden Lymphgefässe verfolgen gegen den Hilus zu die Bahn der Blutgefässe. Erst am Hilus erhalten sie Klappen.

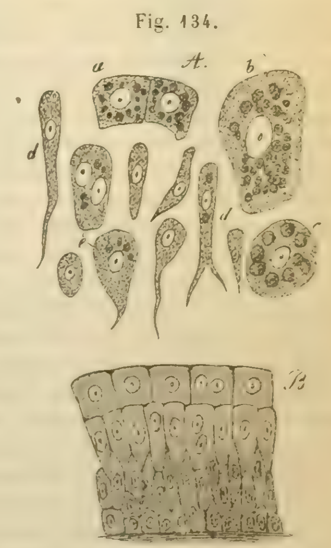
Die **Nerven** der Niere sind noch kaum weiter, als bis zu den Interlobulargefässen verfolgt worden. Sie stammen vom Plexus coeliacus des Sympathicus und umspinnen die Arterie in einem ziemlich dichten Geflechte. Noch im Hilus finden sich an ihnen einige (ganglöse) Knötchen. Die Niere hat nachgewiesenermassen Empfindungsnerven, welche auch die Weite der Blutgefässe beeinflussen.

Zwischen die bisher beschriebenen Gewebselemente der Niere tritt noch Bindesubstanz ein, die aus einem mehr oder weniger dichten Bindegewebskörperchennetze meist ohne fibrilläre Zwischensubstanz besteht. Die Zellen stehen mit den Längsachsen ihrer Kerne senkrecht auf der Längsaxe der Harncanäle. Zwischen den Röhren des Marks findet sich, gegen die Papillen zu an Masse zunehmend, auch streifiges Bindegewebe.

Auf der Oberfläche der Niere des Menschen findet sich nach Eberth ein weitmaschiges Netz glatter Muskelfasern, welche mit der Gefässmuskulatur in keiner Verbindung stehen und schmale Ausläufer in die Rindensubstanz entsenden.

Ueber den Bau der harnleitenden Organe haben wir von physiologischer Seite nur wenig zu sagen. Harnleiter, Nierenbecken und Nierenkelche bestehen aus drei Schichten: zu innerst eine Schleimhaut, dann eine Lage organischer Muskeln, zuletzt eine äussere Faserhaut, die aus Bindegewebe mit elastischen Fasern besteht und direct mit der Nierenkapsel zusammenhängt. Die inneren Fasern der Muskelschicht verlaufen längsgerichtet, die äusseren quer. An den Nierenkelchen verdünnt sich die Muskelschicht mehr und mehr und endet an den Papillen. An dem Ureter kommt etwa von der Mitte an eine dritte äusserste auch längslaufende Muskelfaserschicht hinzu. Die dünne Schleimhaut ist zwar reich an Gefässen, besitzt aber keine Drüsen oder Papillen, auf den Nierenpapillen wird sie sehr fein. Das Epithel ist geschichtet. Die unterste Zellenschicht ist rundlich, die mittlere mehr gestreckt, walzenförmig, an der Oberfläche sind die Zellen rundlich, vieleckig, gross, plattgedrückt. Häufig haben sie zwei Kerne, daneben auch noch andere kernartige Gebilde (Fig. 134). Bei der Harnblase kommt noch der Bauchfellüberzug zu den bisher beschriebenen Lagen hinzu. Die organische Muskelschicht besteht, wie die bisher beschriebenen, zu äusserst aus einer Längs-

Fig. 134.



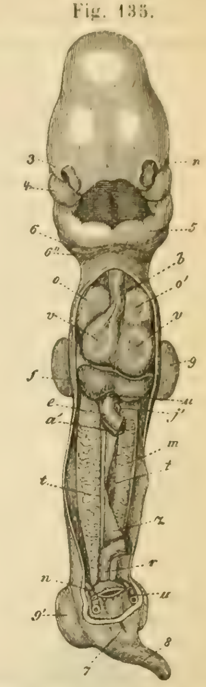
Epithel des Pelvis renalis vom Menschen 350mal vergr. *A* Zellen desselben für sich. *B* Dieselben in situ. *a* Kleine, *b* grosse, Pflasterzellen, *c* ebensolche mit kernartigen Körpern im Innern, *d* walzen- und kegelförmige Zellen aus den tieferen Lagen, *e* Uebergangsformen.

faserschicht, deren Bündel in regelmässiger Weise neben einander verlaufen, Detrusor urinae. Unter dieser liegt eine Schicht querlaufender Fasern, deren Bündel weniger vollständig zusammenhängen. Am Blasenhalse vereinigen sich diese Fasern zu einer starken Ringfaserschicht: Sphincter vesicae. Ein reichliches, bindegewebiges Unterschleimhautgewebe verbindet die Blasenschleimhaut mit den genannten Schichten. Sie bildet in der leeren Blase viele Falten, die bei der Füllung verstreichen. Sie ist glatt, ohne Zotten, ihr geschichtetes Epithel ist dem der übrigen Harnwege ganz ähnlich: oben mehr platte, rundlich-eckige und zackige (geschwänzte) Zellen, in der Tiefe spindelförmige. Im Blasenhalse und Blasengrunde finden sich Schleimdrüschen, entweder einfach birnförmige Schläuche oder auch verästelt, traubig, mit Cylinderepithel. Fr. Darwin hat in der Harnblase (Hund, Kaninchen) sympathische Ganglien und blasse Nervenfasern nachgewiesen. Die ersteren liegen häufig in der Adventitia der grossen Gefässe, die letzteren begleiten meist die Arterien. — Die Harnröhre des Weibes hat eine Muskellage und Schleimhaut von dem eben beschriebenen Bau. Die Schleimdrüsen (Littre'schen Drüsen) sind meist etwas entwickelter als in der Blase und sondern ziemlich reichlich Schleim ab. Die männliche Harnröhre besitzt dagegen ein geschichtetes Cylinderepithel, die unteren Schichten bestehen aus runden oder ovalen Zellen. Die vordere Hälfte der Morgagni'schen Grube hat Papillen und Pflasterepithel. Auch hier finden sich Littre'sche Drüsen: schlauchförmig, gabelig getheilt, gewunden, Schleim absondernd.

Zur Entwickelungsgeschichte. — Die Urnieren. Die Absonderung der durch den Stoffwechsel gebildeten chemischen Körper, welche bei dem erwachsenen Wirbelthiere vorzugsweise durch die Nieren erfolgt, wird bei dem sich bildenden Embryo, soweit sie nicht in der Placenta statt hat, durch eine Drüse besorgt, welche sich in der Folge bei den verschiedenen Abtheilungen der Wirbelthiere in verschiedener Weise an der Bildung der wahren Nieren und der Geschlechtsorgane betheiligt. Die Urnieren (Primordialnieren, Oken'sche oder Wolff'sche Körper) treten nach den Untersuchungen von Remak bei dem Hühnchen schon in sehr früher Zeit auf, ihre Ausführungsgänge liegen (Fig. 45) unmittelbar unter dem Hornblatte in einer Lücke zwischen den Seitenplatten und Wirbeln, aus ersteren scheinen sie sich zu entwickeln, ohne Betheiligung des Hornblatts oder Darmdrüsenblatts. Die Drüse besteht jederseits aus einem an der unteren Seite der Urwirbel verlaufenden, nach aussen zu gelegenen Ausführungsgang, mit welchem nach innen anfänglich kurze, quere, regelmässig sich folgende Drüsenkanälchen in Verbindung stehen. Nach Bischoff werden die Urnieren beim Säugethierembryo sichtbar, bevor die Allantois angelegt ist. Anfänglich erscheint die Anlage solid. Wenn sich die Allantois bis zu einem gewissen Grade entwickelt hat, münden die Urnierengänge mit zwei nahe aneinander gelegenen Oeffnungen in diese ein. Beim Hühnchen und bei den Reptilien (Schlangen) münden sie in die Kloake. Mit dem Wachsthum der Drüse verlängern und schlängeln sich die Seitencanälchen, und es treten mit ihnen die Blutgefässe, wie in den bleibenden Nieren, mit Malpighi'schen Knäueln in Verbindung. Der Ureter der Batrachier ist zugleich Samenleiter. Bei den Forellenembryonen enden die Wolff'schen Gänge zuerst blind am hinteren Leibesende, später erst durchbrechen sie dieses, in eine blasenartige Anschwellung vereinigt. (Schon vor der Bildung des Glomerulus ist der Hohlraum der Gänge mit Krystallen harnsaurer Salze erfüllt, cf. unten.) Der Glomerulus bildet zuerst einen einfachen, an der Aussenfläche mit Epithelien überkleideten, mit Blutkörperchen erfüllten, durch einen engen Hals mit der Aorta zusammenhängenden Sack, aus dem sich durch Einfaltung das Wundernetz des Glomerulus bildet (M. Nussbaum). Die Urniere ist ein ziemlich bedeutendes, dickes, spindelförmig gestaltetes Organ, das zur Seite des Mitteldarmgekröses in der Bauchhöhle liegt (Fig. 135 *m*). An der vorderen äusseren Fläche läuft der Ausführungsgang herab, in welchen die Seitencanälchen noch einzeln münden. In der Folge sehen wir bei den höheren Wirbelthieren die Urnieren im Wachsthum stillstehen und mit Ausnahme der Theile, die mit den Geschlechtsorganen in Verbindung treten, einer Auflösung anheimfallen. Sie secerniren während ihrer Thätigkeit eine Art Harn, ein

körniges Sekret, in welchem REMAK Harnsäure fand, und das wahrscheinlich meist aus harnsaurem Natron und harnsaurem Ammoniak besteht. Die Absonderung der Urnieren ergiesst sich in die Allantois, den Harnsack. Die alkalisch reagirende Allantoisflüssigkeit scheint aber nur zum Theil ein Sekret dieser Drüsen, zum grösseren Theil ist sie wahrscheinlich ein Transsudat aus den Gefässen der Allantoiswand (KOLLIKER), sie enthält Eiweiss und nach BERNARD Zucker. Beim Hühnchen findet sich in ihr Harnsäure, in einer gewissen Zeit auch Harnstoff, bei Säugethieren (Kühen) findet man neben Harnstoff auch Allantoin, welches man auch im Harne saugender Kälber, der sauer reagirt und sich sonst wie Harn der Omnivoren verhält, manchmal auch im Hundeharn (SALKOWSKI) findet. An der Entwickelung der bleibenden Nieren und der harnleitenden Organe betheiligt sich bei höheren Wirbelthieren (Menschen) die Allantois. Diese hängt zunächst (S. 53) durch den Urachus mit der vorderen Mastdarmwand zusammen. Schon im zweiten Monat erweitert sich der Urachus in seinem unteren Theile zur Harnblase, die, zuerst von spindelförmiger Gestalt, sich anfänglich noch durch den Urachus (das spätere Ligamentum vesicae medium) nach oben mit der Allantois, nach unten durch einen kurzen Gang mit dem Mastdarm vereinigt. Meist erst am Ende der Fötalperiode schliesst sich der Urachus. Die Blase nimmt durch fortschreitende Erweiterung ihre bleibende Gestalt an. Die Niere entwickelt sich aus einer blindsackförmigen Anlage. Beim Hühnchen und dem Säugethiere (Kaninchen) sprossen diese (nach GÖTTE und KUPFFER) am Ende des 5. oder Anfang des 6. Tages, aus dem Ausführungsgang der Urniere hervor, zunächst seiner Einmündung in die Kloake; bald trennt sie sich vom WOLFF'schen Gang, so dass der Nierencanal jederseits etwas oberhalb von ersterem in die Kloake mündet. Aus dieser hohlen Anlage entwickeln sich Harnleiter und Nierenkelche, welche mit der Faserschicht eine compacte Drüse bilden. Von dem Epithel der Nierenkelche aus bilden sich nun (REMAK), wie bei Lungen und den traubenförmigen Drüsen, hohle Zellensprossen als Anlage der Harncanälchen, welche rasch wuchern und sich verästeln. Ihre Enden wandeln sich durch eine enge S-förmige Krümmung, deren zweite Windung sich in Form einer Kugelschale auszieht, unter Betheiligung einer zelligen Scheide zu einem kugeligen Körper: Nierenknospe KÖLLIKER's, um. Diese Knospen treten, indem sie dieselben umwachsen, mit den sich selbständig entwickelnden MALPIGHI'schen Gefässknäueln in Verbindung, und wandeln sich in die MALPIGHI'schen Körperchen um. Damit stimmen die Beobachtungen LEYDIG's und im Allgemeinen die Angaben von BIDDER und REICHERT. Ueber die Bildung der Gefässknäuel cf. oben S. 568 NUSSBAUM's Angaben. Bei den reiferen Embryonen der Säugethiere und des Menschen besteht die Niere aus einer Anzahl abgesonderter Lappen, Reniculi, welche nur durch die Zweige des Nierenbeckens (Nierenkelche) zusammenhängen. Beim Bären, der Fischotter, den Cetaceen bleiben die Reniculi während des ganzen Lebens getrennt, bei den anderen Säugethieren verwachsen sie, indem

Fig. 135.

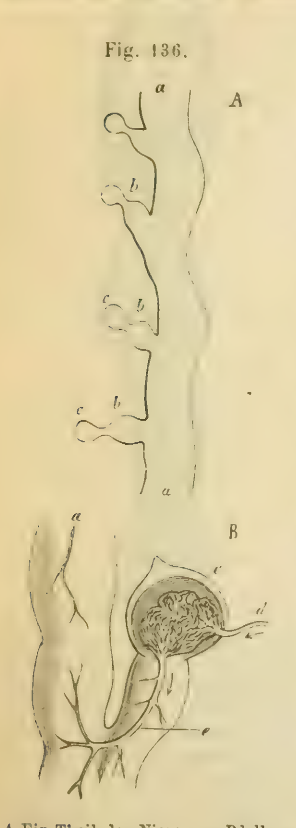


Menschlicher Embryo von 25—28 Tagen (nach COSTE) gestreckt und von vorn dargestellt nach Entfernung der vorderen Brust- und Bauchwand und eines Theiles des Darmes. *n* Auge; 3 Nasenöffnung; 4 Oberkieferfortsatz; 5 vereinigte Unterkieferfortsätze des ersten Kiemenbogens oder primitiver Unterkiefer; 6 zweiter, 6'' dritter Kiemenbogen; Bulbus Aorta; *o*, *o* Herzohren; *vv* rechte und linke Kammer; *u* Vena umbilicalis; *f* Leber; *e* Darm; a' Arteria omphalo-mesenterica; *j'* Vena omphalo-mesenterica; *m* WOLFF'sche Körper oder Urnieren; *t* Blastem der Geschlechtsdrüse; *z* Mesenterium; *r* Enddarm; *n* Arteria; 7 Mastdarmöffnung oder Oeffnung der Kloake; 8 Schwanz; 9 vordere, 9' hintere Extremität.

jeder Reniculus eine Pyramide bildet. Die pyramidale Marksubstanz der Reniculi wird von der Corticalsubstanz wie von einer Mütze bis zu den Papillen überzogen.

Zur vergleichenden Anatomie und Physiologie. — Die Urniere, welche bei den Thieren, die während ihrer Entwickelung ein Amnion besitzen (Amnioten), nur in frühen Embryonalperioden als Niere fungirt, spielt bei den Anamnia eine dauernde Rolle (GEGENBAUR). J. MÜLLER hat bei den Myxinoiden (Cyclostomen) den einfachsten, der Urniere entsprechenden Bau der Wirbelthierniere entdeckt. Ein langer, jederseits durch die ganze Bauchhöhle reichender Ureter gibt in grossen Zwischenräumen von Stelle zu Stelle ein ziemlich weites, aber kurzes Canälchen nach aussen ab, welches durch eine Verengerung zu einem blind endigenden Säckchen führt (MALPIGHI'sches Körperchen), in welchem sich je ein Glomerulus befindet (Fig. 135). Bei der voluminöseren Petromyzontenniere vereinigen sich die Harnleiter zu einem unpaaren, weiteren Abschnitt, welcher, wie die gesonderten Harnleiter der Myxinoiden, zum Bauchporus verläuft. Die Nieren der Fische zeigen keine Unterscheidung von Rinden- und Marksubstanz, die Harncanälchen sind gewunden. Es kommen harnblasenartige Erweiterungen vor, entweder an einem unpaaren Verbindungsstück der Ureteren oder an jedem einzelnen (Selachier). In den Larven der Batrachier zeigen sich die Harncanälchen zuerst als gestielte, auf dem Ureter aufsitzende Bläschen, bei den entwickelten Thieren (Fröschen) gehen die Harncanälchen nach einer Ureterseite hinab und endigen nach einem theils geraden, theils gewundenen Verlaufe und gabelförmiger Theilung am entgegengesetzten Rande der Niere. Die Nieren der Reptilien und Vögel zerfallen in Lappen und zeigen auf ihrer Oberfläche eigenthümliche Windungen, welche bei Vögeln an die Windungen der Gehirnoberfläche erinnern. Bei Schlangen und Schildkröten senken sich in den am Innenrande der Nieren verlaufenden Harnleiter, den einzelnen Nierenlappen entsprechend, grössere Harncanäle ein, welche aus dem büschelförmigen Zusammentreten der feinsten Harncanälchen und ihrer primären Verbindungsstücke hervorgegangen sind. Bei den Sauriern und Krokodilen werden die Ureteren vom Nierenparenchym umschlossen. Bei den Vogelnieren, die in Reniculi zerfallen, zeigt sich deutlich Mark- und Rindenschicht. Der Harnleiter läuft grossentheils ausserhalb der Niere. — Der vordere Theil der Urniere bildet sich sowohl bei den Fischen, als meist auch bei den Amphibien zurück. Wie es scheint, kommt bei den Amnioten nur der hintere, bei den Anamnia eine dauernde Rolle spielende Theil der Urniere zur Entwickelung (GEGENBAUR). Die Amphibien besitzen eine Nierenpfortader, welche die Circulation in den Kapillaren der Harncanälchen unabhängig macht von der in den Glomerulis. Bei Amphibien, Reptilien und Fischen wimpert zum Theil das Epithel der Harncanälchen wie das ihrer Urnieren. Die MALPIGHI'schen Gefässknäuel finden sich in den Nieren aller Wirbelthiere, aber etwas wechselnd in Zahl, Grösse und Verknäuelung. — Die Harnorgane der Wirbellosen sind entweder mehr oder weniger einfache, getrennte Canäle, bei den Würmern und Arthropoden, oder in cavernöse Gebilde umgewandelte Röhren bei den Mollusken. Die wasserführenden Respirationsorgane der Würmer besitzen an ihrem unteren Abschnitte selbständige Drüsen oder Sekretionszel-

Fig. 136.



A Ein Theil der Niere von Bdellostoma. *a* Harnleiter. *b* Harncanälchen. *c* Terminale Kapsel. *B* Ein Stück davon stärker vergrössert, *a*, *c* wie vorhin. In *c* ein Glomerulus, in welchen eine Arterie *d* eintritt, während eine austretende *e* sich auf Harncanälchen und Harnleiter verzweigt. (Nach J. MÜLLER.)

len für die Harnausscheidung. Das Exkretionsorgan = Niere der Trematoden sondert ein körniges oder krystallinisches Sekret ab, in welchem v. GORUP-BESANEZ u. A. Guanin fanden. Bei Insecten, Arachniden und Myriapoden fungiren die sogenannten MALPIGHI schen Gefässe theils als Nieren, theils als gallebereitende Drüsen (LEYDIG). Sie erscheinen als lange, einfache oder verzweigte Canäle, die meist vielfach gewunden oder auch schleifenförmig am Darmcanal anliegen, in dessen letzten erweiterten Abschnitt sie münden. Die weisslichen Gefässe secerniren die Harnkonkremente, neben ihnen vorkommende Gefässe gelbliche Galle. Bei einigen Insecten ist die verschiedene Function auf die verschiedenen Abschnitte eines und desselben Gefässes beschränkt. Bei den Krustenthieren sind die Harnorgane noch nicht sicher erkannt, v. SIEBOLD möchte die betreffende Function in Blindschläuche verlegen, welche an verschiedenen Stellen zwischen Pylorus und Mastdarm in den Darmcanal einmünden. Bei den Mollusken entsprechen die Harnorgane den bei Würmern angetroffenen Bildungen. Es sind Canäle, welche mit einer äusseren Oeffnung beginnen und nach kürzerem oder längerem Verlauf in der Leibeshöhle mit einer wimperbesetzten inneren Oeffnung münden. Durch zottenartige Fortsätze und mehrfache Faltungen erhalten sie einen drüsigen, cavernösen Bau, bei einigen: Ptero-, Hetero- und Cephalopoden sind diese Nieren contractil. Die cavernösen Räume sind durch die Sekretionszellen ausgekleidet, welche bei den Acephalen flimmern. Die Harnabscheidungen erscheinen als Körnchen, schalige Kugeln oder krystallinische Bildungen in den Sekretionszellen und zwar in eigenen Sekretionsräumen derselben (H. MECKEL's Sekretionsbläschen). Solche Konkremente sind es, welche bei den niederen Thieren die Exkretionsorgane überhaupt mit einiger Sicherheit erkennen lassen, der Zusammenhang dieser Konkretionen mit dem Harn der Wirbelthiere ist vielfältig noch unerwiesen. Die Konkremente färben die Nieren weiss, gelb, oder wie bei Paludina vivipara grün (LEYDIG). — Im Hundeharn fand SALKOWSKI Allantoin nach Fleisch- und Fettfütterung. BAUMANN, STÄDELER, C. PREUSSE constatirten im Rinderharn Kresol (Ortho-, Para- und Metakresol).

Chemisch-physiologische Vorgänge in der Niere.

Die der Niere eigenthümlichen Lebenserscheinungen sind bisher noch wenig erforscht. Von der specifischen Zellenthätigkeit in der Niere zeugt das Vorkommen von Inosit und Taurin im Nierengewebe. Neben diesen finden wir auch hier Sarkin und Xanthin (CLOETTA, STÄDELER, NEUKOMM u. A.), auch Kreatin. Der Stoffwechsel des Nierengewebes wird vor anderen charakterisirt durch die Bildung des schwefelhaltigen Cystins, das sonst in keinem Gewebe nachgewiesen ist. BECKMANN fand Leucin und Tyrosin in der Niere, das aber von STÄDELER und NEUKOMM nur in kranken Nieren, z. B. bei Choleraleichen, aufgefunden werden konnte. Harnstoff und Oxalsäure treten bei Morbus Brightii auf, bei Diabetes mellitus trifft man Zucker. Die structurlose Hülle der Harncanälchen zeigt, wie das Sarcolemma, eine hohe Resistenz gegen chemische Agentien, ähnlich der des elastischen Stoffes. In dem albuminreichen Inhalte der Epithelzellen der Harncanälchen finden sich nach Fett- und Fleischgenuss Fetttröpfchen, wie solche von Einigen als ziemlich konstante Bestandtheile des Harns angenommen werden.

In welchem Zusammenhange der chemische Bau der Niere zu ihrer Function steht, hat sich bisher noch nicht näher enträthseln lassen. In neuester Zeit ist mehrfach die Behauptung aufgestiegen, dass die Niere durch ihre specifische Thätigkeit Harnstoff erzeuge aus Stoffen (besonders Kreatin), die ihr durch das Blut zugeführt würden. Man hat den Beweis dafür durch Ausschneiden von Nieren bei Hunden und Kaninchen zu führen versucht und wollte nach diesen Operationen sehr wenig Harnstoff im Blute und in den Organen der operirten Thiere aufgefunden haben, weit weniger, als sonst bei Vorhandensein der Nieren in selber Zeit gebildet worden wäre, dagegen sei das Kreatin vermehrt. Man änderte den Versuch auch in der Art um, dass man die Nieren bestehen liess und nur die Harnleiter unterband, und so nur die Harnausscheidung unmöglich machte.

Dann sollte sich die normale Menge Harnstoff in den Geweben vorfinden, da eben die Nieren ihre Thätigkeit noch hatten fortsetzen können. Man hat sogar behauptet, dass frisches Nierengewebe, mit Kreatinlösung zusammengebracht, in dieser das Kreatin in Harnstoff umwandele. Den negativen Befunden, nach denen Harnstoff bei Thieren, bei denen die Nieren ausgeschnitten waren, mehr oder weniger vermindert gefunden oder sogar ganz vermisst wurde, steht das positive Resultat von C. Voit entscheidend gegenüber, welcher nach der Nierenausscheidung den Harnstoff in den Geweben ebenso vermehrt fand, wie nach der Harnleiterunterbindung, während er in Beziehung auf das Kreatin keine Veränderung in der Quantität erkennen konnte. Auch Rosenstein suchte durch Versuche zu zeigen, dass sich die Niere an der Harnstoffbildung nicht betheilige. Bunge und Schmiedeberg fanden, dass in der ausgeschnittenen Niere, durch welche sie Blut mit Benzoesäure mit Glycocoll leiteten, aus diesen Substanzen Hippursäure gebildet wurde. (Kühne und Hallwachs fanden bekanntlich bei der Hippursäurebildung die Leber vorwiegend betheiligt.)

Wir müssen die Nieren wie die Lungen vor Allem als Ausscheidungsorgane betrachten, welche einen Theil der Blutflüssigkeit — Wasser und die am leichtesten diffundirenden Stoffe — durch sich hindurchtreten lassen. Die Möglichkeit ist nicht ausgeschlossen, dass sich ähnlich wie die Lunge an der Kohlensäureausscheidung auch die Niere an der Harnausscheidung aktiv betheiligt, indem sie vielleicht durch aktive Veränderung ihres Zellenchemismus den Diffusionsströmen den Weg durch ihre Zellenmebranen oder durch die Membranen der Kapillaren bahnt. Dass so Etwas in den Nieren stattfindet, vielleicht ebenso wie bei anderen Drüsen und im Muskelgewebe auch durch Säurebildung (die Nierensubstanz reagirt sauer, auch bei den Thieren, welche alkalischen Harn absondern), zeigt sich darin, dass aus der alkalisch reagirenden Blutflüssigkeit die saure Harnflüssigkeit hervortritt. Für aktive Betheiligung der Niere an der Harnbereitung spricht die Beobachtung Voit's, dass bei Kreatinfütterung das Kreatin ebenso wie das, welches sich im alkalischen Blute findet, in den Nieren in Kreatinin sich umwandelt. Es erscheint das als eine Wirkung der sauren Nierenreaktion, da die gleiche Umwandlung auch im sauren Muskel behauptet wird und auch ausserhalb des Organismus durch saure Flüssigkeiten geschieht. Das Cystin und Taurin des Nierengewebes deuten, wie wir sahen, auf einen specifischen Nierenstoffwechsel. Der Inosit aber, der sich in der Niere findet, geht wohl, da er nicht im Harne auftritt, ähnlich wie der Zucker in der Leber in das durchströmende Blut über. Bei niederen Thieren und Vögeln finden wir feste Nierensekrete als Konkremente in den Nierenzellen sich anhäufen.

Nach Störungen in der Nierenthätigkeit findet sich wie nach Nierenausschneiden der Harnstoff im Blute und in den Organen vermehrt, wie aus den Befunden bei Choleraleichen, bei denen die Harnentleerung vor dem Tode ganz aufhörte, sowie bei Nierendegenerationen hervorgeht. Offenbar entledigt sich also bei seinem Durchgang durch die Nieren das arterielle Blut eines Theiles seines Harnstoffes, den wir als normalen Bestandtheil des Blutes kennen. Die Beobachtung Picards scheint zu ergeben, dass sich in dem venösen Nierenblut weniger Harnstoff nachweisen lasse, als in dem arteriellen.

Die Blutveränderungen in der absondernden Niere zeigen die gleichen Verhältnisse, wie bei allen arbeitenden Drüsen (cf. oben S. 263). Das Blut, welches das ruhende Organ durchströmt, wird dunkel venös gefärbt und ist stark faserstoffhaltig. Dagegen fand Bernard das Venenblut der absondernden Niere hellroth, dem arteriellen ähnlich, fast oder vollkommen faserstofffrei; dabei soll es mehr Sauerstoff und weniger Kohlensäure enthalten als dunkles, venöses Blut. Bei gleicher Dichtigkeit verhalten sich nach Bernard's Versuchen die Gasvolumina in den uns hier interessirenden Blutarten

	Arteria renalis:	Vena renalis hellroth:	Vena renalis dunkelroth:
O	19,4	17,2	6,4
CO_2	3,0	3,13	6,4

Durch die Reizung der Gefässnerven, wodurch sich die Gefässlumina verengern, die Widerstände gegen die Blutströmung also zunehmen, wird das Venenblut dunkelroth. Der Augen-

schein ergibt, dass während der Thätigkeit des Organes die Blutmenge, welche dasselbe durchströmt, sehr bedeutend vermehrt ist.. In der Niere des lebenden Kaninchens befinden sich für gewöhnlich etwa 2% der Gesammtblutmenge (J. RANKE).

Die physikalischen Bedingungen der Harnausscheidung.

Die Harnausscheidung ist theils eine Folge der Lebensthätigkeit der Nierenepithelien: eine wahre Sekretion, theils eine Folge der eigenthümlichen Blutdruckverhältnisse in den Nierengefässen, namentlich in denen der Glomeruli: physiologische Filtration. Die Ausscheidung des Harnstoffs und der übrigen specifischen Harnbestandtheile erfolgt, wie es scheint, vorzugsweise durch die Nierenepithelien, während die normale Wasserausscheidung vorwiegend den Filtrationsvorgängen in den Glomerulis zufällt.

Die Beobachtungen haben ergeben, dass durch eine allgemeine Steigerung des Blutdruckes in dem Blutgefässsysteme, wie sie z. B. durch gesteigerte Wasseraufnahme in der Nahrung erzielt wird, die Harnabsonderung vermehrt werden kann. Es spricht das dafür, dass die Harnabsonderung überhaupt ihr Zustandekommen zunächst den Druckverhältnissen im Blutgefässsysteme, die ja in den Nieren so eigenthümlicher Art sind, verdanke. In den Harncanälchen herrscht wohl stets ein geringerer Druck, als in den zuführenden Arterien der Glomeruli, in denen er noch durch die geringere Weite der abführenden Arterien im Vergleich mit den zuführenden, und durch die Zerspaltung gleichsam in zwei bedeutende Widerstände einführende Kapillarsysteme (KÖLLIKER) gesteigert ist. Auch die anatomische Anordnung der Glomeruligefässe selbst trägt nach LUDWIG's Meinung zur Drucksteigerung bei, in Folge deren der diffusionsfähige Theil der Blutflüssigkeit durch die Kapillarwände der Glomeruli durchgepresst wird. Für Eiweiss und Fette finden wir die Wände zahlreicher Kapillarsysteme im thierischen Körper undurchgängig, auch durch die Wände der Glomeruligefässe treten diese Stoffe nicht hindurch. Nach HEYNSIUS spielt hierbei die Säure des Nierengewebes eine Rolle. Eiweiss, welches verhältnissmässig leicht in destillirtes Wasser eintritt, diffundirt in angesäuertes Wasser oder in sauren Harn kaum herein. Es wäre also die schwach saure Reaktion des Harnes, welche den Uebergang des Eiweisses in die Harncanälchen hindert. Dass Fett für sich feuchte Membranen nicht durchdringt, wissen wir aus den Untersuchungen der Fettresorption im Darme. Die Flüssigkeit, welche aus dem Blute durch die Membranen der Glomeruligefässe in die Harncanälchen hereintritt, ist also Blutflüssigkeit, der die Eiweissstoffe und Fette fehlen. Woher kommt es aber, dass aus dem alkalischen Blut saurer Harn abgesondert wird? R. MALY machte über diese Frage entscheidende Versuche, welche den Diffusionsvorgang selbst dafür verantwortlich erscheinen lassen. Wenn er den Blutsalzen analog neutrales (alkalisch reagirendes) phosphorsaures Natron und saures phosphorsaures Natron in destillirtes Wasser durch Pergamentpapier oder thierische Membranen diffundiren liess, so ging stets relativ mehr Phosphorsäure als Natron in das Wasser über, so dass die Aussenflüssigkeit bald sauer wurde, während die Innenflüssigkeit alkalisch blieb. Den gleichen Erfolg hatten Diffusionsversuche mit hippursaurem Natron und freier Hippursäure. Der alkalische Harn der Pflanzenfresser erklärt sich nach MALY dadurch, dass

dieser aus einem alkalireicheren und säureärmeren Blut als bei den Menschen und Fleischfressern entsteht. Der Menschenharn wird ebenfalls alkalisch, wenn viel Magensaft abgesondert, d. h. viel Säure dem Blut entzogen wird.

Die Harnflüssigkeit tritt in den gewundenen Harncanälchen, die von einem reichen Kapillarnetze umsponnen werden, in Diffusionsverkehr mit dem durch die Harnausscheidung concentrirter gewordenen Blute und erleidet dadurch noch weitere Veränderungen, die sie zum Harne machen. Diese Hypothese (Ludwig) lässt manche Eigenthümlichkeiten des Harnes, besonders die verschiedene Concentration desselben an Salzen im Vergleiche mit dem Blute unaufgehellt, doch gibt sie uns im Allgemeinen ein verständliches Bild. Die verschiedene Concentration an Salzen im Harne und Blute rührt wohl zunächst davon her, dass die Salze, welche wir in der Blutasche finden, im Blute selbst zum Theil nicht frei vorhanden sind. Ein Theil derselben ist an schwer oder nicht diffundirende organische Verbindungen (Eiweiss etc.) geknüpft. Ein anderer Theil der Salze dagegen scheint durch den Verbrauch der organischen Stoffe, mit denen sie verbunden waren, frei im Blute enthalten zu sein. Nur dieser letztere Antheil kann durch den Filtrations- und Diffusionsstrom direct ausgeschiewerden.

Von den Gasen des Blutes gibt nur der einfach diffundirte Antheil seine Procente an den Harn ab. Der an die Blutkörperchen gebundene Sauerstoff geht, eben so wenig wie die Blutkörperchen selbst, in den Harn über. Wir verdanken Planer Untersuchungen der **Harngase.** Normaler Harn enthält danach im Mittel:

in 100 Harn:	Stickstoff	0,820	bei 0° und
- - -	Sauerstoff	0,043	0,76 m Druck
- - -	freie Kohlensäure . .	4,729	
- - -	gebundene - . .	3,066	

Durch Muskelbewegung und andere Vorgänge, welche den Kohlensäuregehalt des Blutes steigern, steigt auch der Kohlensäuregehalt des Harns (Morin). Der Harn hat nach Planer etwa dasselbe Absorptionsvermögen für die betreffenden Gase wie Blut und Wasser. Die freie Kohlensäure des Harnes wächst wie die des Blutes in der Verdauung.

Alle Momente, welche den Druck in den Glomerulis vermehren, steigern nach den vorliegenden Beobachtungen die Menge des ausgeschiedenen Harnes. Wie schon angeführt, wirkt hierin reichliches Wassertrinken, welches sehr rasch den Druck im gesammten Gefässsystem vermehrt, am energischsten. Die Steigerung der Harnabsonderung ist nach Genuss von Getränken eine so rasche, dass eine frühere Zeit directe »geheime Wege« zwischen Magen und Harnblase zur Erklärung annehmen zu müssen glaubte. Koloman Müller hat im Laboratorium Cl. Bernard's durch Versuche an grossen Hunden den Einfluss der Hautthätigkeit auf die Harnabsonderung studirt. Erkältung der Haut (durch eiskalte Umschläge und Uebergiessungen) hatte, wie sich erwarten liess, eine Vermehrung, Erwärmung der Haut nach analoger Methode eine Verminderung der Harnabsonderung im Gefolge. Durch ausgedehnte Muskelkrämpfe, durch Verschluss grosser Arterien, durch Kälte, welche das Blut von der Haut zu den inneren Organen treibt, wird der Druck in der Nierenarterie erhöht. Während der krampfhaften Muskelthätigkeit selbst ist die Harnabsonderung aber vermin-

dert, die Steigerung tritt erst nach dem Nachlassen derselben ein (J. Ranke). Auch rein nervöse Einflüsse, z. B. gewisse Hirnverletzungen an der Basis des vierten Ventrikels, können sich hierin geltend machen. Hierher sind auch die Einflüsse der Gemüthsbewegungen und mancher Nervenkrankheiten zu rechnen. Gesteigerte Thätigkeit des Herzens steigert den Druck im Arteriensysteme. Durch die Reizung der Nerven der Niere können die Arterien verengert, durch ihre Paralyse dagegen erweitert und die Widerstände dadurch verändert werden. Die Concentration des Blutes an den in die Harncanälchen ergossenen, gelösten Stoffen wird die Stärke der Diffusionserscheinungen in den gewundenen Canälchen reguliren und damit auch die Harnmenge und die Menge der im Harn enthaltenen Stoffe vermehren oder vermindern. Alles, was den Blutdruck in den Glomerulis vermindert, vermindert auch die Harnsekretion. Daher wirkt mangelnde oder zu geringe Wasseraufnahme vermindernd. Ebenso Schwächung der Herzthätigkeit bei Herzleiden, vor Allem Blutverluste (J. Ranke), welche die Harnausscheidung bald ganz sistiren können. Von Nerveneinfluss auf die Nierenthätigkeit ist, wie oben erwähnt, zunächst ein vasomotorischer nachgewiesen, welcher durch Lumenveränderung in den Gefässen die Druckverhältnisse in den Glomerulis regeln kann. Nach Bernard steigert Vagusreizung den Blutzufluss zur Niere, die Vene schwillt an, ihr Blut wird heller, karmoisinroth. Umgekehrt fand er den Erfolg bei Reizung des Splanchnicus major. Schatz und E. Wendt finden, dass eine Steigerung des intraabdominalen Druckes — die sich schon durch gewisse Veränderungen in der Körperstellung herstellen lässt, — die Harnabsonderung vermindere e. v. v. Wahrscheinlich ist das eine Folge eines gesteigerten Druckes auf die Nierenvenen, wodurch nach Ludwig die Harnabsonderung vermindert werden soll.

Das beständig abgesonderte und nachrückende Sekret scheint der Grund, warum der Harn aus den gewundenen in die gestreckten Canälchen und aus diesen in das Nierenbecken gelangt. Ein Rücktritt in die Papillenöffnung ist unmöglich, da ein gesteigerter Druck im Nierenbecken die Mündungen der Harncanäle an der Papille zusammenpressen muss. Auch in den Harnleitern wird der Harn durch die Schwere und den Druck des beständig abgesonderten, von hinten her nachrückenden Harnes bewegt. Dabei sind peristaltische, nach Engelmann automatisch erregte Contractionen ihrer Muskelwände mit thätig. Die Einpressung des Harns in die Blase ist daher keine stetige, sondern eine nach einem gewissen Rhythmus erfolgende. Dieser Rhythmus wird durch Aufnahme von viel Flüssigkeit in das Blut beschleunigt, durch Mangel an Getränk verlangsamt.

In der Blase ist ein ähnlich einfacher Verschluss für die Harnleitermündungen vorhanden, wie in den Nierenbecken für die Harncanälchen. Die Harnleiter durchbohren die Blasenwand schief; jede gesteigerte Ausdehnung der Blase, welche die Flüssigkeit durchzupressen strebt, presst daher die Ureterenmündungen zusammen. Die Elasticität der Prostata beim Manne, sowie der muskulöse Sphincter vesicae, der durch die Elasticität elastischer Faserringe noch unterstützt wird, hindern den unwillkürlichen Harnaustritt aus der Blase. Die Spannung der gefüllten Blase erregt den Drang zum Harnlassen, der durch einen in die Harnröhre gelangten Urintropfen gesteigert wird. Das Harnlassen selbst wird durch die Bauchpresse eingeleitet, durch starke reflektorische Con-

tractionen der Blasenwand (Detrusor urinae) vollendet. Die Contractionen der Blasenwände können das Blasenlumen vollkommen verschliessen; sie werden durch den sensiblen Reiz hervorgerufen, welchen der auf die Harnröhrenschleimhaut gelangende Harn ausübt. Die Muskeln, welche die Harnröhre umgeben (namentlich Bulbocavernosus), pressen die Flüssigkeit aus letzterer aus. Der Verschluss des Blasenringmuskels soll ein tonischer, also durch fortwährenden Nerveneinfluss hervorgerufener sein (Heidenhain u. A.). Andere leugnen den tonischen Contractionszustand (z. B. v. Wittich) oder das Vorhandensein des Blasensphincters selbst (Barkow).

Der Sphincter vesicae wird durch die Contractionen der Blase mit eröffnet (G. Jurié), da er mit jenen Längsmuskelbündeln der Blase in directer Verbindung und Abhängigkeit steht, welche zur Prostata und Urethra ziehen. Den Druck in der Harnblase bestimmte P. Dubois zu 13—15 cm Wasser fast gleichbleibend bei verschiedenem Alter und Geschlecht.

Die Blasennerven verfolgte Budge in den Lendentheil des Rückenmarks, Valentin in das Gehirn. Bei Rückenmarksdegeneration stellt sich häufig Lähmung der Blasenmuskeln ein und dadurch Harnverhaltung. Die peristaltischen Contractionen der Ureteren verlaufen beim Kaninchen mit einer Geschwindigkeit von 20—30 mm in der Secunde von der Niere gegen die Blase zu (Engelmann). Im Leben werden sie an dem Ursprung des Ureters durch den Reiz des eindringenden Harns reflektorisch hervorgerufen. Auch künstliche Reize rufen Contractionen hervor, welche dann von der gereizten Stelle aus sich nach beiden Seiten fortpflanzen. Engelmann sah die Contractionen auch an Ureterstücken ablaufen, an denen er keine Nerven und Ganglien auffinden konnte. Engelmann denkt zur Erklärung an automatische Muskelcontractionen und Fortpflanzung des Reizzustandes durch Muskelleitung.

Der Inhalt der Harnblase steht in Diffusionsaustausch mit den in ihrer Wandung strömenden Flüssigkeiten: Blut und Lymphe. Concentrirter Harn entnimmt dabei letzteren Wasser und gibt an sie Harnstoff ab, so dass in Blut und Lymphe gefundener Harnstoff zum Theil durch Diffusion aus den Harnwegen in die Säfte gelangt sein konnte (Treskin).

Die Chemie des Harns.

Im Harnstoff verlässt fast die gesammte, der Zersetzung der stickstoffhaltigen Körperbestandtheile, der Albuminate, entstammende Ammoniakmenge den Organismus. Da nach der Ausschaltung der Nierenthätigkeit Harnstoff in Blut und Geweben sich anhäuft, so müssen diese, nicht speciell die Nieren, seine Bildungsstätte sein. Es gelang, Harnstoff aus dem Gewebssafte der Leber, Milz und Lymphdrüsen, neuerdings (Picard) auch aus dem der Muskeln zu gewinnen und seine Anwesenheit in sehr geringer Menge im Centralnervensystem wahrscheinlich zu machen. Harnstoff scheint darnach im Stoffumsatz wahrscheinlich in allen Organen zu entstehen, und von ihnen aus in das Blut zu gelangen. Hierbei ist nicht ausgeschlossen, dass auch im normalen Leben nach der oben angeführten Beobachtung Treskin's ein Theil des im Blute und vielleicht auch in den Organen sich findenden Harnstoffs durch Diffusion aus dem Harn der Harnblase in die Säftemenge zurückgetreten ist. Es gelingt leicht, Harnstoff künstlich aus cyansaurem Ammoniak (cf. S. 83) und durch Abspaltung der Elemente des Wassers aus kohlensaurem Ammoniak herzustellen, dagegen ist bis jetzt alle Mühe, Harnstoff direct durch irgend eine Eiweisszersetzung zu gewinnen, vergeblich gewesen. So neigt sich gegenwärtig die allgemeine Ansicht dahin, dass auch im Organismus aus den Eiweissstoffen nicht direct Harnstoff entstehe, sondern dass sich die Eiweissstoffe auch im Organismus zunächst in die gleichen oder analogen Spaltungsprodukte zerlegen wie ausserhalb des Organismus, und dass erst aus diesen, soweit sie stickstoffhaltig sind, Harnstoff entstehe. Werfen wir, mit Rücksicht auf diese Meinung, einen Blick auf die bis jetzt bekannten Zersetzungen der »Eiweisskörper«. Bei der Behandlung der Eiweisskörper mit Säuren

wie mit Alkalien bilden sich: Leucin, Tyrosin, Asparaginsäure, Glutaminsäure und Ammoniak (Hlasiwetz und Habermann), bei der des Glutins bildet sich Glycin (Glycocoll). Die gleichen Stoffe entstehen aus Eiweiss durch Wirkung des pankreatischen Ferments, sowie bei der Keimung der Samen, hier an Stelle der Asparaginsäure, Asparagin. Erhitzt man Eiweissstoffe unter starkem Druck mit Aetzbaryt, so bilden sich noch ausserdem Butalanin, Amidovaleriansäure, Amidoonanthylsäure, Glutiniminsäure, Leucein, Glycoprotein, Oxalsäure und Schwefeldioxyd, dabei entwickelt sich Ammoniak und Kohlensäure in demselben Verhältnisse 2 : 1, wie bei der Zersetzung des Harnstoffs (P. Schützenberger). Durch Oxydation mittels Braunstein und Schwefelsäure entstehen aus den Eiweissstoffen neben Ammoniak und flüchtigen organischen Basen Ameisen-, Essig-, Propion-, Butter-, Capron- und Benzoesäure, und die Aldehyde der vier letztgenannten Säuren. Bei Einwirkung von Salpetersäure tritt auf: Oxalsäure, Kleesäure, Xanthoproteinsäure, von Königswasser: neben Oxalsäure Fumarsäure und Chlorazol. Erhitzen mit Wasser und Säuren unter hohem Druck verwandelt die Eiweissstoffe zunächst in Peptone, dann entstehen Leucin, Tyrosin u. a. (Lubavin). Bei Fäulniss und gewissen Gährungen entsteht aus Albuminaten Indol. Für unsere Frage kommen nur die stickstoffhaltigen Zersetzungsprodukte in Betracht. O. Schultzen und Nencki haben den Nachweis geliefert, dass von diesen Leucin und Glycin, vielleicht auch Tyrosin, Knieriem dass auch Asparaginsäure und Asparagin im animalen Organismus in Harnstoff umgewandelt werden, also auch als Vorstufen der Harnstoffbildung im Organismus anzusprechen sind. Aber auch Ammoniak resp. kohlensaures Ammoniak geht, wie die Experimente mit Sicherheit zu beweisen scheinen, im Organismus in Harnstoff über, so dass darnach auch das bei der Zersetzung der Albuminate auftretende Ammoniak als Vorstufe der Harnstoffbildung erscheint. Knieriem sah bei Kaninchen, die er mit Salmiak gefüttert hatte, das eingeführte Ammoniak als Harnstoff wieder erscheinen. Salkowski bestätigte diese Entdeckung für Kaninchen. Bei Hunden gelingt dieser Nachweis nicht so leicht (Feder, Salkowski); bei ihnen trübt die mit dem Ammoniak im Salmiak eingeführte Salzsäure das Versuchsergebniss, da Säuren in der Nahrung die Ammoniakausscheidung im Harn der Hunde beträchtlich steigern (Salkowski u. A.). Dagegen fand Schmiedeberg, was von Hallervorden vollkommen bestätigt wurde, dass in der Nahrung zugeführtes kohlensaures Ammoniak im Hundekörper fast vollkommen zu Harnstoff umgebildet wird; und W. Schroeder beobachtete, dass Hühner ameisensaures und anderthalbkohlensaures Ammoniak (von letzterem 84% des gegebenen Ammoniaks) in Harnsäure umwandeln. Wir erinnern hier an die von Jaffe und Mayer angestellten Untersuchungen über Umwandlung von Harnstoff in Harnsäure im Vogelorganismus. Salkowski fasste die neugewonnenen Thatsachen über Harnstoffbildung im animalen Organismus zusammen.

Organische Harnbestandtheile.

Harnstoff. Unter den Stoffen, welche durch den Harn den Organismus verlassen, steht an Wichtigkeit der Harnstoff obenan. Er ist, wie die Kohlensäure, ein gefährliches Gift für den Organismus. Seine Ausscheidung ist für den Fortgang des Lebens eine Nothwendigkeit, da er, in grösseren Quantitäten im Blut und in den Organen angehäuft, schliesslich vom Gehirn aus eine Lähmung des gesammten Reflexmechanismus des Rückenmarks und den Tod hervorzurufen vermag. 1) Gewisse Amidosäuren treten nach ihrer Einführung in den Darm in der Form von Uramidosäuren im Harn auf. 2) Gewisse andere Amidosäuren, die als Spaltprodukte des Eiweiss bekannt sind — Glycin, Leucin, Asparaginsäure — geben bei Fütterung Harnstoff. 3) Nach Fütterung mit Ammoniaksalzen findet sich der grösste Theil des Stickstoffs derselben als Harnstoff im Harn. 4) Bei der Oxydation von Glycin, Leucin etc. in alkalischer Lösung ausserhalb des Körpers bildet sich die Carbaminsäure, und diese findet sich auch als Salz im Blut. Nach Salkowski wäre der Vorgang bei der Harnstoffbildung mit Zufuhr von Ammoniak so aufzufassen, dass 2 Cyansäuremoleküle sich mit 2 Ammoniak zu 2 Harnstoff

verbinden. $(CONH)_2 + 2NH_3 = CO\begin{cases}NH_2\\NH_2\end{cases} + CO\begin{cases}NH_2\\NH_2\end{cases}$. Nach DRESCHEL ist der Vorgang der Harnstoffbildung im Organismus folgender: das Eiweiss zerfällt in Leucin, Tyrosin etc., diese werden oxydirt, bilden carbaminsaures Natron; letzteres zerfallt — vielleicht durch ein Ferment — unter Wirkung von 2 Molekul Natron in Harnstoff und kohlensaures Natron. SALKOWSKI denkt auch hier an eine Betheiligung der Cyansäure. SCHMIEDEBERG's und KNIERIEM's Ansicht ist einfacher und dadurch ansprechender, sie glauben, dass kohlensaures Ammoniak direct durch Wasserabspaltung in Harnstoff sich umwandle.

In 24 Stunden scheidet ein Erwachsener etwa 30—40 Gramm Harnstoff bei gemischter, reichlicher Nahrung aus. Ist die Nahrung gerade hinreichend, den täglichen Verlust an Körperstoffen zu decken, so wird in 24 Stunden im Harnstoff so viel Stickstoff ausgeschieden, als in der Nahrung zugeführt und verdaut wurde. Diese von VOIT und BISCHOFF am Fleischfresser und an Vögeln, von HENNEBERG für das Rind gewonnene Thatsache konnte ich auch für den gesunden Menschen erweisen.

Die Harnstoffausscheidung hat man vielfach nach Geschlecht, Alter, Körpergewicht, äusseren Lebensbedingungen, Temperatur etc. schwanken sehen; betrachtet man die Verhältnisse näher, so ergibt sich aber, dass der Hauptregulator für die Harnstoffausscheidung die Ernährungsweise ist. Während bei länger dauerndem Hunger die Harnstoffausscheidung endlich auf eine untere Minimalgrenze herabsinkt, bei der nur einige Gramm täglich ausgeschieden werden, kann bei krankhaft gesteigertem Hunger und dem entsprechender Nahrungsaufnahme, wie z. B. im Diabetes (Zuckerharnruhr), die täglich ausgeschiedene Harnstoffmenge 100 Gramm und mehr erreichen.

Die geringsten Mengen von Harnstoff sah ich bei meinen an der eigenen Person angestellten Ernährungsversuchen (cf. oben S. 222), am zweiten Hungertage: 17,02 Gramm und bei stickstofffreier Nahrung: 17,0 Gramm in 24 Stunden. Bei krankhaft lange Zeit fortgesetzter, fast vollkommener Inanition sah SEEGEN die 24stündige Harnstoffmenge eines erwachsenen Weibes auf 6,1 Gramm sinken. Bei reiner Fleischnahrung fand ich die grösste Menge 86,3 Gramm in 24 Stunden. Meine Minimalzahl verhält sich zur Maximalzahl wie 1 : 5. Aus meinen Untersuchungen am Menschen ergeben sich, entsprechend den von BISCHOFF und VOIT am Fleischfresser gewonnenen Resultaten, folgende Sätze für die Abhängigkeit der Harnstoffausscheidung von der Nahrungseinnahme. 1) Bei vollkommen gleicher Stickstoffzufuhr in der Nahrung während mehrerer Versuchstage findet anfangs eine wechselnde Harnstoffausscheidung statt, erst nach einigen Tagen wird letztere ziemlich gleichmässig. Dann ist die im Harnstoff ausgeschiedene Stickstoffmenge der in der Nahrung zugeführten und verdauten gleich. 2) Im Hunger wird das Minimum von Harnstoff ausgeschieden, doch ist in den ersten Hungertagen die ausgeschiedene Harnstoffmenge verschieden nach der dem Hunger vorausgegangenen Ernährungsweise. 3) Durch Nahrungszufuhr allein, abgesehen von ihrer Zusammensetzung, wird die Harnstoffausscheidung nicht gesteigert. Bei rein stickstofffreier Kost sinkt die Harnstoffmenge auf und selbst unter das bei Hunger beobachtete Minimum. 4) Steigerung der Stickstoffzufuhr in der Nahrung steigert die Harnstoffausscheidung. Doch steht wenigstens während der ersten 24 Beobachtungsstunden die Steigerung der Ausscheidung nicht in einem directen Verhältnisse zur Steigerung der Zufuhr. 5) Steigerung der Stickstoffzufuhr vermehrt nicht nur am betreffenden, sondern auch noch am folgenden Tage die Harnstoffausscheidung; Hunger bewirkt umgekehrt noch für den folgenden Tag Minderung. — Ausser diesen Einflüssen auf die normale Harnstoffausscheidung sehen wir vor Allem auch noch die Blutmenge und die Wasseraufnahme in der Nahrung für die Quantität derselben von Einfluss. Gesteigertes Wassertrinken mehrt die Harnstoffausscheidung (GENTH u. A.); das Gleiche wurde mehrfach für die Zufuhr von Kochsalz (BISCHOFF, KAUPP, VOIT u. A.) behauptet. Eine Reihe älterer Angaben über Vermehrung oder Verminderung der Harnstoffabgabe wurde von VOIT als irrig widerlegt; so die viel gemachte Behauptung, dass Muskelanstrengung die 24stündige Harnstoffausscheidung der geleisteten Arbeit entsprechend mehre, oder dass Kaffeegenuss dieselbe herabsetze.

Die Harnstoffausscheidung während der verschiedenen Tagesstunden steht unter dem Einfluss der Nahrungsaufnahme, sie steigt während der Verdauungsperiode bedeutend, um dann wieder zu sinken. Soviel Mahlzeiten, soviel Erhebungen zeigt die Curve der Harnstoffausscheidung auf die Zeit bezogen. Ebenso ist es bei der Wasserausscheidung im Verhältniss zum genossenen Getränke. Auch bei dem hungernden Individuum zeigen sich Schwankungen, die sich nur aus inneren Schwankungen der organischen Vorgänge im Körper während des Tages erklären lassen. Gegen Nachmittag erreicht die Harnstoffausscheidung hierbei ein Maximum (Becker). Von Morgens an beginnt sie aber zuerst konstant zu sinken (C. Voit, J. Ranke). Die Erklärungen für diese Angaben ergeben sich aus den Gesetzen der Ernährung.

Die **Harnsäure** wird in sehr viel geringeren Mengen ausgeschieden, als der Harnstoff, bei dem Erwachsenen etwa 0,5 Gramm im Tage. Im Uebrigen zeigt sie eine merkwürdige Uebereinstimmung mit dem Harnstoffe in ihren Ausscheidungsverhältnissen, wie Lehmann, Heinrich Ranke und ich gezeigt haben. Die Ausscheidung der Harnsäure ist am geringsten bei Hunger und bei stickstoffloser Nahrung (Zucker). Sie steigt bei Pflanzenkost und ist bei Fleischnahrung am bedeutendsten. Ich fand, dass normal die Harnsäureausscheidung in einem b e s t i m m t e n Verhältnisse stehe zur Harnstoffausscheidung: beide Stoffe werden in einer bestimmten Proportion ausgeschieden, und zwar ist, wenn die ausgeschiedene Harnsäuremenge = 1 gesetzt wird, im Mittel das Harnsäure-Harnstoff-Verhältniss = 1 : 45. Die Schwankungen in der täglichen Ausscheidungsgrösse sind also denen der Harnstoffausscheidung kongruent. Die geringste Menge während 24 Stunden beobachtete ich bei Hunger: 0,24 Gramm, die grösste bei übermässiger Fleischnahrung 2,11 Gramm! eine vor mir am Gesunden noch niemals beobachtete Quantität. Heinrich Ranke fand bei Fleischnahrung in 24 Stunden etwa 0,9 Gramm, ich im Durchschnitt bei vorwaltender Fleischkost 1 Gramm, bei gemischter wie Heinrich Ranke 0,7 Gramm. Man hat früher ein Wechselverhältniss zwischen Harnsäure- und Harnstoffausscheidung in der Art angenommen, dass, da die Harnsäure ein niederes Oxydationsprodukt der stickstoffhaltigen Körperbestandtheile sei, sie dann in gesteigertem Maasse auftrete, wenn die Oxydationsbedingungen im Organismus gestört seien, der Harnstoff sei dann entsprechend vermindert. Die von mir beobachtete Proportionalität der Harnsäure- und Harnstoffausscheidung sprechen, wie es scheint, nicht für diese Annahme, wenn auch die Chemie eine Bildung von Harnstoff aus Harnsäure als möglich lehrt. Gefütterte Harnsäure erscheint als Harnstoff im Harne.

Kreatin und **Kreatinin** kommen im Menschenharne etwa in denselben Mengenverhältnissen vor wie Harnsäure, etwa 0,7 Gramm bis 1 Gramm in 24 Stunden. Auch ihre Menge schwankt mit dem Stickstoffgehalte der Nahrung wohl in analoger Weise wie die Harnsäure.

Die **Hippursäure** (Meissner und Schepard) ist im Harne der Pflanzenfresser in ziemlich bedeutenden Mengen enthalten; auch im menschlichen Harne scheint sie vielleicht niemals ganz zu fehlen, bei vorwiegender Fleischdiät entzieht sie sich aber der Beobachtung (0.008%). Im Harne der Fleischfresser kommt sie stets in ähnlich geringer Menge vor. Durch Genuss von Vegetabilien und von Benzoësäure, die sich ausserhalb wie im Organismus mit Glycin zur Hippursäure verbindet (cf. S. 83), können wir den Hippursäuregehalt des Harns steigern.

Durch Säuren und Alkalien, sowie unter Einwirkung der Gährung, z. B. im faulenden Harn, zerfällt die Hippursäure in Benzoësäure und Glycin. Kühne und Hallwachs behaupteten, dass die Paarung des Glycins mit der Benzoësäure im Blute vor sich gehe, und dass dazu das Glycin der Glycocholsäure, das in der Leber entsteht, verwendet wird. Meissner und Schepard konnten dagegen im Blute der Pflanzenfresser keine Hippursäure auffinden, auch wenn sie im Harn reichlich enthalten war. Sie behaupten daher, dass sich die Hippursäure erst in den Nieren bilde. In der Cuticularschicht der Pflanzen findet sich ein Stoff, welcher von Pflanzenfressern verdaut werden kann, obwohl er chemisch unlöslich ist, aus welchem Hippursäure entsteht. Die inneren Pflanzentheile in den Wurzeln z. B. enthalten diesen Stoff nicht. Dieser Stoff der Cuticula hat in seiner Zusammensetzung einige Aehnlichkeit mit der Z i m m t s ä u r e, aus der ebenfalls Hippursäure im Organismus entsteht.

Ueber **Cystin** cf. unten S. 603 und 608.

Kryptophansäure J. L. W. THUDICHUM $C_{10}H_{18}N_2O_{10}$.

MEISSNER und JOLLY konnten auch **Bernsteinsäure** im Harne nachweisen, ebenfalls nur in minimalen Mengen.

Zucker zeigt sich nach BRÜCKE im Harne in äusserst geringen Spuren normal, ebenso **Gallensäuren** nach DRAGENDORF und JOH. HONE.

Die **Harnfarbstoffe** sind verschieden (cf. S. 88); die Harnfarbe wechselt normal von roth zu gelb, krankhaft: grün, blau, braun und schwarz.

Ausser diesen Stoffen werden noch **Extraktivstoffe** beschrieben, ein Gemisch noch unbestimmter chemischer Materien.

NEUBAUER fand stets Spuren von **Ammoniak** im frischen Harne. Der Ammoniakgehalt des Harns ist in neuerer Zeit vielfach Gegenstand der Untersuchung gewesen, vorzuglich wegen der nahen Beziehung des Ammoniaks zur Harnstoffbildung (cf. oben S. 576, 577). Unorganische Sauren vermehren beim Fleischfresser den Ammoniakgehalt des Harns (SCHMIEDEBERG und WALTER), ebenso die Fleischnahrung, da aus dem Fleisch saure Produkte gebildet werden, umgekehrt sinkt der Ammoniakgehalt des Harns durch fixe Alkalien (E. HALLERVORDEN).

Weiteres cf. bei Harnanalyse S. 586.

Anorganische Harnbestandtheile.

Chlor. Die Kochsalzausscheidung in 24 Stunden schwankt bei gewohnlichen Verhaltnissen zwischen 13 und 23 Gramm. Auch wenn das Chlor in der Nahrung des Menschen vollkommen ausgeschlossen war, blieb nach den Untersuchungen von WUNDT der Harn des Menschen noch chlorhaltig. Am 3. Tage des Versuchs erschien aber zum Beweise, wie bedeutend die Störung in der Harnausscheidung durch den Kochsalzhunger ist, Eiweiss im Harne. Die Ausscheidung des Chlors richtet sich in ihren quantitativen Verhältnissen vor Allem nach der Aufnahme desselben in die Nahrung, so dass man von einem Normalgehalt des Harns an Kochsalz nicht sprechen kann. Bei kochsalzfreier Nahrung hält der Organismus im Blut und in den Geweben hartnäckig Kochsalz zuruck (VOIT). S. L. SCHENK fand bei kochsalzfreier Kost bei Kaninchen bis zum 4. Tage eine Abnahme des Chlorgehaltes des Blutes, in den folgenden Tagen wieder ein Ansteigen bis etwa zur normalen Hohe. In meinen an mir selbst angestellten Beobachtungen schwankte die Kochsalzmenge im Harn von 4,83—33,8 Gramm, nach KAUPP nur bis 27,3 Gramm in 24 Stunden. Die niedrigste Zahl von 4,8 Gramm beobachtete ich an einem Hungertage, an dem gar keine Nahrung während 48 Stunden aufgenommen wurde; die höchste bei möglichst reichlicher Ernährung, bei welcher der Salzgenuss dem Geschmacke überlassen war. Bei ganz gleichbleibender Kochsalzzufuhr in den Organismus zeigt nach allen Beobachtungen an Thieren und Menschen, auch wenn kein Kochsalz durch Haut und Darm fortgeht, die tägliche Kochsalzausscheidung im Harne gewisse Schwankungen nach auf- oder abwärts. Meist verlässt die aufgenommene Kochsalzmenge den Organismus schon nach sehr kurzer Zeit wieder. Nach einer salzreichen Nahrung sind die entleerten Harnmengen sehr kochsalzreich. Durch gesteigerten Kochsalzgenuss wird auch die ausgeschiedene Harnmenge vergrossert. Das Kochsalz wirkt wie andere Salze harntreibend.

Bei dem Menschen hat die Schweissbildung auf die Menge des ausgegebenen Kochsalzes im Harne einen nicht unbedeutenden vermindernden Einfluss. Bei langere Zeit gleichbleibender Kochsalzzufuhr, bei welcher eine gleichbleibende Kochsalzausscheidung im Harn eingetreten war, nahm ich ein Schwitzbad, in welchem während 17 Minuten der Korper um 1280 Gramm = 2½ Zollpfund an Gewicht durch Schweissbildung abgenommen hatte.

Kochsalzgehalt des Harnes am Tage vor dem Schwitztag	9,1	Gramm
- - - - Schwitztag	6,8	-
- - - - Tage nach dem Schwitztag	10,2	-

Genth, welcher derartige Versuche bei Bewegung, bei welcher geschwitzt wurde, anstellte, bekam ähnliche, aber weniger grosse Differenzen. Den grossten Unterschied ergab ihm folgender Versuch: ohne Bewegung 9,5, mit Bewegung 8,3 Gramm Chlor. Das Kochsalz wird also bei Schweissbildung zum beträchtlichen Theile durch die Haut entfernt. Aehnlich wirken auch pathologische Ergusse, die plotzlich aus dem Blute abgegeben werden. Das im Harn enthaltene Chlor ist nicht immer alles an Kochsalz gebunden (Genth), ein geringerer Theil scheint mit Kali, Calcium und Ammoniak vereinigt zu sein. Bei Futterung von Hunden mit Chlorcalcium wird alles Chlor im Harn ausgeschieden, dagegen nur 1/36 des Kalks, der Rest als kohlensaurer Kalk in den Faeces (Salkowski und Perl).

Die Schwefelsäure und Phosphorsäure des Harnes stammen von der Zersetzung der Eiweiss- oder leimgebenden Stoffe der Gewebe und der Nahrung oder aus anorganischen Salzen, welche mit den Nahrungsstoffen eingeführt werden. Nicht aller Schwefel der schwefelhaltigen Körperstoffe wird aber zu Schwefelsäure oxydirt, ein Theil geht im Koth, vielleicht auch im Harn (Salkowski) als Taurin ab (cf. S. 605). Da im Harn die Schwefelsäure, die Phosphorsäure und der Harnstoff zum grossen Theil den gleichen Ursprung haben, nämlich die Eiweisszersetzung, so ist meist auch mit einer Steigerung des einen in normalen Fällen, wenn nicht durch störende Zusätze zur Nahrung oder medikamentöse Darreichung Aenderungen hervorgerufen werden, eine Steigerung der anderen verbunden. Im Hunger sinkt die Schwefelsäure- und Phosphorsäureabscheidung analog wie die Harnstoffabscheidung. Am meisten werden ausser durch Einführung schwefel- und phosphorsaurer Salze in der Nahrung die Ausscheidungen der beiden Säuren durch Fleischnahrung gesteigert. Muskelarbeit steigert die Schwefelsäureausscheidung (Engelmann). Die Steigerung der beiden Säuren im Harne durch Einführung von Salzen derselben wird dadurch beschränkt, dass der Darm nur eine kleine, begrenzte Menge, etwa 4—6 Gramm, ohne Störung aufnehmen kann. Die beiden Säuren sind im Harne sowohl an Alkalien, als an Erden gebunden. Nach Fleischgenuss überwiegt das saure-phosphorsaure Kali im Harne sehr bedeutend. Die Schwankungen in der Quantität der Ausscheidung sind bei Schwefel- und Phosphorsäure in 24 Stunden etwa ebenso bedeutend, wie bei dem Harnstoff. Genth u. A. fanden bei gemischter Kost annähernd gleiche Mengen der beiden Säuren im Harn. Schwefeläure: 2,5—3,3 Gramm, Phosphorsäure: 3,6—5,1 Gramm in 24 Stunden. Diese Zahlen sind bei Gesunden etwa als die normalen Mengen zu betrachten für die tägliche Ausscheidung. Wie gross aber die Schwankungen je nach dem Wechsel der Nahrung sich ergeben können, lehren meine Bestimmungen bei einer Aufnahme von 1832 Gramm fettfreiem Fleisch im Tage. Die hierbei gefundenen Zahlen können wohl als Maximalzahlen für die physiologisch mögliche Steigerung dieser Ausscheidungen ohne Darreichung von schwefelsauren und phosphorsauren Salzen in der Nahrung betrachtet werden. Ich fand in 24 Stunden: Schwefelsäure 6,8 Gramm. Phosphorsäure 8,0 Gramm.

Gepaarte Schwefelsäuren des Harns der Säugethiere und des Menschen. Der Harn enthält nach E. Baumann verschiedene Substanzen: gepaarte Schwefelsäuren, aus welchen sich durch Mineralsäuren Schwefelsäure abspalten lässt. Der Gehalt daran ist am grössten im Pferdeharn, dann folgt Kaninchenharn, zuletzt der des Menschen und des Hundes. Diese gepaarten Schwefelsäuren sind:

1) die phenolbildende Substanz, z. Thl. Phenolsulfosäure $\left.\begin{matrix}C_4H_5\\K\end{matrix}\right\} SO_4$ und noch eine zweite ähnliche Substanz;

2) Indican; bei der Zersetzung des Indicans durch Säuren tritt stets Schwefelsäure auf;

3) Brenzkatechinschwefelsäure.

L. Brieger bestimmte die Phenolausscheidung bei Krankheiten (cf. unten).

Unter Buchheim's Leitung fand A. Krause, dass nach Einnahme von Schwefeblumen = fein vertheiltem Schwefel in den Darm die Schwefelsäureausscheidung im Harn zunimmt, dass sonach Schwefel im Darm aufgenommen wird. Im Laboratorium Voit's wurde diese Auf-

nahme auch für Hunde constatirt und wahrscheinlich gemacht, dass der Schwefel als Schwefelalkali resorbirt werde.

Neben den bisher angeführten Säuren: Kohlensäure, Salzsäure (Chlor), Schwefelsäure, Phosphorsäure, finden sich noch im Harne geringe Mengen von Oxalsäure, vielleicht nicht konstant, und Kieselsäure (?).

Die anorganischen Basen des Harns sind mit den Säuren meist zu sauren Salzen verbunden. Das saure phosphorsaure Natron hält den oxalsauren Kalk und die Harnsäure im Harne in Lösung.

Der Kali- und Natrongehalt des Harns steht unter vorwiegendem Einfluss der Nahrung. Der Kaligehalt beträgt (Salkowski, Dehn) unter gewöhnlichen Ernährungsverhältnissen 3 Gramm (2,9 — 4,5 Gramm); Kaffe, Fleischbrühe, Fleischextrakt, namentlich aber Bier vermehren den Kaligehalt des Harns. (Genuss von Chlorkalium bringt Kopfschmerzen und andere nervöse Symptome hervor.)

Den **Kalkgehalt** in Hundeharn fanden Salkowski u. A. pro die zu 0,12—0,36 Gramm ohne specielle Kalkfütterung, bei letzterer steigt die Kalkausscheidung im Harn.

Die Reaktion des Harnes ist normal meist eine saure. Sie rührt von den im Harne vorherrschenden sauren Salzen her, vor Allem von den sauren phosphorsauren Alkalien. Diese sauren Salze werden aus den basischen phosphorsauren Alkalien durch die Anwesenheit der organischen Säuren des Harns: Harnsäure, Hippursäure, auch der Kohlensäure, erzeugt, welche einen Theil der Basen für sich in Anspruch nehmen. Ebenso entstehen saure Salze in allen Säften des Körpers, wo freie Säuren vorhanden sind. Künstlich kann die Reaktion des Harnes sauer gemacht werden durch den Genuss freier Säuren, sowohl anorganischer wie organischer. Auch Ammoniaksalze sollen, da sie z. Thl. zu Salpetersäure im Organismus oxydirt werden, den Harn sauer machen. Nach mässigem Fleischgenuss ist es vor Allem das saure phosphorsaure Kali, das die saure Reaktion des Harns bedingt. — Der Harn kann aber auch bei ganz gesunden Menschen alkalisch reagiren. Der Harn der Pflanzenfresser ist immer alkalisch. Die alkalische Reaktion findet sich bei dem Menschen nach übermässiger Nahrungsaufnahme während der Zeit der Verdauung. B. Jones stellte dieses für gemischte Kost fest, aber auch nach reiner Fleischnahrung wird die Reaktion alkalisch. Bei einem meiner Versuche wurden Mittags 1½ Uhr 1281 Gramm fettfreies Ochsenfleisch gegessen. Den um 4 Uhr Nachmittags entleerten Harn fand ich stark alkalisch, ebenso noch um 8 Uhr Abends. Der folgende Morgenharn zeigte sich stark sauer. Man pflegt diese physiologische Abnahme der sauren Harnreaktion während der Verdauung auf die Abscheidung freier Säure im Magensaft zu beziehen, welche aus Salzen hervorgehe, deren Alkalien im Harne ausgeschieden werden. Durch den Genuss von kaustischen und neutral-kohlensauren Alkalien kann man ebenfalls willkürlich die saure Harnreaktion in eine alkalische umwandeln. Schon eine Stunde nach dem Genuss von kohlensaurem Natron findet sich der Harn alkalisch. Ebenso wie kohlensaure Alkalien wirken die meisten organisch sauren Alkalien, da sie im Organismus zu kohlensauren verbrannt werden. Die alkalische Reaktion des Pflanzenfresserharnes rührt von den in so reichlicher Menge in der Nahrung aufgenommenen organisch sauren Salzen her. Doppeltkohlensaure Alkalien machen, vor dem Essen genommen, wobei sie unverändert resorbirt werden, den Harn stärker sauer (Beneke, Parkes, Ralfe), indem sie im Blut in phosphorsaure und neutral-kohlensaure Salze verwandelt werden; nach dem Essen genommen, machen sie den Harn alkalisch, da ihre Säure durch den Magensaft ausgetrieben wird (Ralfe).

Die Wasserabgabe durch den Harn richtet sich, wie aus den Bemerkungen über die Mechanik der Harnabsonderung hervorgeht, vor Allem nach der Menge des genossenen Wassers. In Gegenden, in denen der Biergenuss gewöhnlich ist, ist das täglich ausgeschiedene mittlere Harnvolumen grösser, als in Gegenden, in denen diese Sitte nicht herrscht. Je mehr Wasser entleert wird, desto mehr feste Stoffe (Harnstoff, Salze etc.) verlassen den Organismus durch den Harn, sie werden aus den Geweben ausgeschwemmt, aber auch durch den durch gesteigerte Wasseraufnahme vermehrten Saftestrom durch die Organe in grösseren Quantitäten

gebildet (Voit). Umgekehrt wird durch die gesteigerte Einfuhr von Salzen, welche den Organismus nur gelöst im Harn verlassen können, z. B. durch Kochsalz u. a. m., dem Organismus eine grössere Wassermenge entzogen. Dasselbe ist der Fall, wenn durch gesteigerte Zersetzung sehr viele aus den Geweben gelöst abzuführende Stoffe gebildet wurden. So kommt es, dass starke Fleischnahrung die Wasserabgabe durch den Harn ungemein steigert. Dann ist zeitweilig die Wasserausscheidung durch die Nieren von der Wasserzufuhr in der Nahrung unabhängig, so dass unter Umständen weit mehr Wasser im Harne ausgeschieden wird, als Getränk zugeführt wurde. So kann es kommen, dass in Folge starken Fleischgenusses der Körper durch Wasserabgabe eine bedeutende Gewichtsabnahme erleidet. Bei einem von mir am Menschen angestellten Versuche wurden zu 2009 Gramm Fleisch 1400 cc Wasser getrunken. Die ausgeschiedene Harnmenge betrug 2260 cc, die Körpergewichts a b n a h m e, zumeist durch Wasserverlust verursacht, 1179 Gramm in 24 Stunden. In dem anderen Versuch betrug die Abnahme durch Wasserverlust in 24 Stunden 1085 Gramm, trotz einer Aufnahme von 1281 Gramm Fleisch. Umgekehrt v e r m e h r t eine stickstofflose Nahrung den Wassergehalt des Organismus und setzt die Wasserabscheidung in den Nieren herab. Als Beispiel führe ich auch eine am Menschen von mir gemachte Beobachtung an. Es wurde bei Aufnahme von 1321 cc Wasser neben 300 Gramm Stärke, 100 Gramm Zucker und 150 Gramm Fett, im Harn nur 758 cc Wasser entleert, das Körpergewicht nahm an diesem Tage zu um 297 Gramm. Voit konnte die Wasserzunahme der Gewebe nach Brotfütterung an Fleischfressern (Katze) durch Wasserbestimmung in den Geweben nachweisen. Nach starken M u s k e l k r ä m p f e n fand ich die Wasserabgabe durch die Nieren vermehrt, während des Krampfs sehr beträchtlich vermindert. Es hängt diese Veränderung zunächst von der durch allgemeine Muskelkrämpfe veränderten Blutvertheilung im Körper ab (J. Ranke), wobei das Blut in erhöhtem Maasse in die Muskeln strömt und dadurch den Drüsen, auch den Nieren entzogen wird. — Cl. Bernard entdeckte einen n e r v ö s e n E i n f l u s s a u f d i e W a s s e r a u s s c h e i d u n g. Er lehrte die Harnausscheidung vermehren durch Verletzung des verlängerten Markes ganz nahe der Stelle, durch deren Verletzung die Zuckerausscheidung im Harne angeregt wird.

Die t ä g l i c h e n H a r n m e n g e n schwanken sehr; normal von etwa 500 cc aufwärts bis zu mehreren tausend, bei Harnruhr bestimmte ich sie zu 25000 Gramm. Seegen sah die tägliche Harnmenge bei lange krankhaft fortgesetztem Hunger und geringster Flüssigkeitszufuhr bei einer erwachsenen Frauensperson im Minimum bis auf 125 cc sinken. An mir selbst sah ich sie bei vollkommener Gesundheit ohne übermässige Flüssigkeitsaufnahme schwanken von 750 cc, bei vollkommener Nahrungs- und Flüssigkeitsenthaltung, bis zu jenen oben als Effekt der Fleischnahrung erwähnten 3073 cc am Tage. Das Mittel beträgt bei erwachsenen Männern bei r e i c h l i c h e r Zufuhr von Flüssigkeiten etwa 1600 cc in 24 Stunden. Bei Frauen ist das Mittel im Allgemeinen, da sie meist weniger zu trinken pflegen als die Männer, geringer. Die Schwankungen der Wasserabscheidung im Harne während verschiedener Tagesstunden, die stündlichen Harnmengen, zeigen sich im Allgemeinen übereinstimmend mit den Schwankungen der Harnstoffabgabe und der Ausscheidung der anderen Harnbestandtheile. — Während des S c h l a f e s ist der Harn concentrirter, von höherem spec. Gewicht und wird in geringerer Menge ausgeschieden, als während des W a c h e n s. Der Morgens sofort nach dem Erwachen entleerte Harn zeigt die Eigenschaften des Schlafharns; aber wenn die Beobachtungspersonen auch noch stundenlang wach, aber ruhig im Bett liegen bleiben, so tritt doch die typische Vermehrung und relative Verdünnung des Harns ein, welche den Morgenharn charakterisirt (H. Quincke's m o r g e n d l i c h e H a r n f l u t), beim Umhergehen ist die stündliche Harnmenge geringer, als bei ruhigem Liegen im Bett. Nächtliches Wachen vermehrt die stündliche Menge des Nachtharns.

Die Harnfarbe. Je concentrirter der Harn ist, desto stärker zeigt er sich auch im Allgemeinen g e f ä r b t. Der sehr concentrirte Morgenharn direct nach dem Aufstehen ist darum am dunkelsten gefärbt. Nach Krämpfen ist der Harn, weil sehr verdünnt, meist auch sehr hell. Fast wasserhell, aber meist etwas trübe, ist er bei Harnruhr. — Gewöhnlich ist der Menschenharn durchsichtig und hell. Auch bei vollkommen Gesunden scheidet sich aber

häufig bei concentrirten Harnen Morgenharn ein Niederschlag aus, der im sauren Harn aus harnsaurem Ammoniak und harnsaurem Natron, hier und da gemischt mit reiner Harnsäure, besteht. Ist der Harn alkalisch, ein Zustand, den ich bei einem ganz gesunden jungen Manne, der reichlich Fleisch zu essen pflegte, fortgesetzt beobachtete, so scheiden sich phosphorsaurer Kalk und Magnesia aus, die öfters zuerst als schillernde Haut auf der Oberfläche des Harns erscheinen.

Das specifische Gewicht des Harnes ist, wie schon einleitend angeführt, nach Vogel etwa im Mittel 1020. Nach meinen Beobachtungen an Gesunden stellt sich das Mittel ziemlich viel niedriger: 1015,4. Die niedrigste Zahl fand ich bei mir bei Hunger wobei aber eine sehr grosse Harnmenge entleert wurde: 1007,5. Bei einem viel Wasser trinkenden Landschullehrer beobachtete ich 1003, der Harn war kaum gefärbt. Das höchste von mir beobachtete normale specifische Gewicht betrug 1026,5. Man kann nach Trapp annähernd die festen Stoffe des Harnes in Procenten berechnen aus dem specifischen Gewicht. Man schneidet die drei ersten Zahlen des spec. Gewichts des Harnes durch ein Komma von der oder den folgenden ab und subtrahirt dann Hundert. Der Rest wird verdoppelt und gibt dann die gesuchte Procentzahl der festen Stoffe des Harns. Bei 1020 würde man also das Komma setzen nach der Zahl 2 also 102,0, nun würden Hundert davon abgezogen, es bleiben dann 2,0, diese Zahl gibt verdoppelt die festen Stoffe in Procenten = 4,0%. Die Rechnung stimmt mit der Beobachtung nur annähernd. Aus einer grossen Anzahl von Beobachtungen leitete ich das mitgetheilte spec. Gewicht des Harnes 1015,4 ab. Nach Trapp'schen Formeln berechnen sich die Procente der festen Stoffe zu 1,54 $\times$ 2 = 3,1%; die direct gefundene Mittelzahl ergab 3,8%.

Die Gesammtmenge der durch den Harn entleerten festen Stoffe fand ich beim Menschen bei vollkommener Nahrungsenthaltung als niederste Zahl 25 Gramm in 24 Stunden. Als Maximalzahl bei Fleischgenuss 1832 Gramm 132,7 Gramm. Als Normalzahl ergibt sich etwa 50 Gramm. Durch gesteigte Wasserabgabe in den Nieren wird die ausgeschiedene Gesammtmenge fester Stoffe, wie jeder dieser Stoffe für sich, gesteigert. Während bei Hunger einmal in 832 cc Harn 25 Gramm in 24 Stunden abgeschieden wurden, fand ich z. B. ebenfalls bei Hunger, aber mit 2234 cc Harn 39,3 Gramm feste Stoffe. Starke Schweissbildung vermindert die Ausscheidung der festen Stoffe durch Kochsalzabgabe vor Allem nicht unbeträchtlich. Bei der gleichen Kochsalzzufuhr fand ich in 5 Tagen vor dem Schwitztag im Mittel 61,1 Gramm feste Stoffe, den Tag nach dem Schwitztag 57,6 Gramm, am Tage, an welchem das oben schon erwähnte Schwitzbad genommen wurde, nur 46,2 Gramm. Trotz der gleichen Nahrungszufuhr sind die täglich ausgeschiedenen festen Stoffmengen doch ziemlich bedeutenden Schwankungen unterworfen, es spiegeln sich in diesen Schwankungen alle die Einflüsse, welche die Harnstoffausscheidung und die Salzausscheidung erfährt. Eine solche Reihe ergab mir bei ganz gleicher Kost die Werthe: 86,5; 59,7; 65,4; 62,4; 67,1; 51,0; 46,2 Schwitztag; 57,6.

Zur Entwickelungsgeschichte. — Harnausscheidung der Neugeborenen. — Nach Martin und Ruge beträgt, ohne eine wesentliche Aenderung des Körpergewichts, die Harnmenge in 24 Stunden, auf 1 Kilo Körpergewicht gerechnet, am 1. Lebenstage 4,4 Gramm, am 18. Tage schon 18,8 Gramm. Der Harn wird meist hell entleert, trübt sich aber in den ersten Tagen ziemlich rasch durch Ausfallen von Uraten. Der Harnstoffgehalt des Harns betrug am 1. Tage, auf 1 Kilo Körpergewicht berechnet, 0,0205 Gramm, am 10. Tage 0,0919 Gramm. Harnsäure: Harnstoff = 1 : 14 (?). Der Harn enthält Phosphorsäure und Chlor. Das spec. Gewicht des Harns schwankt zwischen 1003—1006. Reaktion ist neutral, seltener ganz schwach sauer. Zucker und Eiweiss halten Parrot und Robert nicht für normale Bestandtheile des Harns der Neugeborenen.

Historische Bemerkungen.

Der Harn hat schon bei den ältesten Aerzten genaue Beachtung gefunden; in den Schriften des HIPPOKRATES finden sich zahlreiche praktische Bemerkungen über diesen Gegenstand. Auch die Chemiker haben sich bald und vielfältig mit diesem Gegenstande beschäftigt. Die ersten genauen chemischen Versuche wurden von VAN HELMONT angestellt, sie finden sich in seiner Abhandlung über Steinbeschwerden. ARETAUS und AURELIAN hatten wie die anderen alten Aerzte die Blasensteine für wirkliche Steine und Sand genommen und sie daher λίθος, λιθίασις genannt, CELSUS und PLINIUS nennen sie Calculus und Sabulum, PARACELSUS Duelech. VAN HELMONT suchte zuerst experimentell zu beweisen, dass die Bestandtheile, aus welchen die Blasensteine gebildet sind, im Harn angetroffen werden. Er verglich ihre Bildung mit der Krystallisation des Weinsteines aus dem Weine. HALES, BOYLE, BOERHAVE u. v. A. haben sich mit diesem Gegenstand beschäftigt. Der erste richtige Begriff ihrer Natur wurde von SCHEELE 1776 gegeben, der in den Steinen, die er untersuchte, die Harnsäure, die er Blasensteinsäure nannte, als wesentlichen Bestandtheil auffand, und die er nachher auch im Harn nachweisen konnte. BERGMANN fand einen Harnstein aus phosphorsauren Erden bestehend, wodurch er den Beweis führte, dass diese Concretionen verschiedene Zusammensetzung haben können. WOLLASTON beschrieb 1797 fünf verschiedene Arten, nämlich Steine aus Harnsäure, aus phosphorsaurem Kalk, aus einem Gemenge dieses Salzes mit phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia (schmelzbare Steine), aus reiner phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia, aus oxalsaurer Kalkerde (Maulbeersteine). Die ausführlichste Untersuchung wurde kurze Zeit später von FOURCROY und VAUQUELIN veröffentlicht, welche die Aerzte aufgefordert hatten, ihnen Proben von Harnsteinen zu dieser Untersuchung mitzutheilen. Sie fanden in den 5—600 Steinen, die sie untersuchten, dieselben Bestandtheile, welche WOLLASTON vor ihnen angegeben hatte, dazu noch harnsaures Natron und in zwei Steinen einen Gehalt an Kieselerde. PROUST fand einen aus kohlensaurem Kalk (?), WOLLASTON entdeckte 1810 als Blasensteinbestandtheil das Cystin (Cystic oxide), A. MARCET fand das Xanthin (Xanthic oxide), LINDBERGSON die kohlensaure Magnesia. Aus dem Harne selbst hatten 25 Jahre nach VAN HELMONT's Untersuchungen BRAND und KUNKEL Phosphor dargestellt. BOYLE versuchte eine Harnanalyse, es glückte ihm ebenfalls Phosphor zu erhalten, dessen Bereitung geheim gehalten wurde, und den er in London von einem Apotheker zum Verkauf aus Harn bereiten liess. Ungefähr gleichzeitig sind die ihrer Zeit viel gerühmten Harnuntersuchungen von BELLINI und BOERHAVE. MARKGRAF zeigt, dass der Phosphor von den im Harne sich findenden phosphorsauren Salzen herrühre. Die Beobachtungen einer Reihe vortrefflicher Chemiker beschäftigten sich vorzüglich mit den anorganischen Harnsalzen. ROUELLE d. J. lenkte 1773 die Aufmerksamkeit auch auf die organischen Bestandtheile (Harnstoff), die er »seifenartigen Harnextrakt« nennt. Die Entdeckung der Blasensteinsäure, der FOURCROY den Namen Harnsäure (Acidum uricum) gab, wurde schon erwähnt. Doch datirt erst von der Arbeit des englischen Chemikers CRUIKSHANK (1797 publicirt) die eigentliche Kenntniss von der Natur des Harns. Er ist der eigentliche Entdecker des Harnstoffs, der von FOURCROY und VAUQUELIN näher untersucht und benannt wurde. Er beschrieb die Veränderungen des Harns in Fiebern, Wassersucht, Diabetes mellitus etc. FOURCROY und VAUQUELIN gaben drei Jahre später eine ausführliche Harnanalyse. THÉNARD gab an, dass die freie Säure des Harns nicht allein Phosphorsäure, sondern auch Essigsäure sei, BERZELIUS substituirte dafür Milchsäure. F. WOLFF gibt 1807 in KLAPROTH's chemischem Wörterbuch als normale Bestandtheile des Harns an: Wasser, Gallerte und Eiweissstoff, Harnstoff, mehrere Säuren (Harnsäure, Benzoësäure, Essigsäure), Salze und Schwefel. SEGUIN hatte zuerst Eiweiss im Harn aufgefunden, BERZELIUS gibt an, dass es, wenn auch bei Kranken ein ziemlich häufiger, doch aber kein normaler Bestandtheil sei; man hatte bis dahin zwischen Schleim und Eiweiss keinen genauen Unterschied gemacht. ROUELLE hatte die Benzoesäure im Harn grasfressender Thiere aufgefunden, ebenso den dort reichlichen kohlensauren Kalk an Stelle des phosphorsauren Kalks, den SCHEELE zuerst im Harn nach-

gewiesen hatte. Die Harnfarbe sollte nach Fourcroy und Vauquelin von Harnstoff herrühren, dessen Menge sie mit der gesättigteren Farbe zu- und abnehmen sahen. Berzelius führt 1809 als organische Harnbestandtheile an: Harnstoff, freie Milchsäure, milchsaures Ammoniak, unbestimmte Extraktivstoffe, Harnsäure, Harnblasenschleim. Liebig entdeckte die Hippursäure und ihren Zusammenhang mit der Benzoesäure. Die Untersuchungen von Berzelius, Liebig, Dumas, Wöhler u. A. haben vor Allem die jetzige Kenntniss des Harns begründet. Kreatin und Kreatinin wurden im Harn zuerst von Heintz und Pettenkofer ausgeschieden.

Die Harnanalyse und ihr Werth für den Arzt.

Die alte ärztliche Praxis erkannte dem Harne einen bedeutenden diagnostischen Werth zu. Wenn der Arzt den Puls gefühlt und gezählt, die Hand zur Messung der Temperatur auf die Stirne des Patienten gelegt und dessen Zunge besehen hat, so greift er noch heute sogleich nach dem Harngefässe, dessen Inhalt er mit Sorgfalt betrachtet. Wir sehen aus den gespannten Mienen des Kranken und seiner theilnehmenden Umgebung, wie tief das Bewusstsein von der Wichtigkeit der Harninspection aus der therapeutischen Praxis in das Publikum eingedrungen ist. Einem in der Ferne wohnenden Arzt, der einen Kranken in absentia behandeln soll, wird zur Unterstützung einer Krankheitsbeschreibung eine Portion Harn übersendet. Es wird gar oft jetzt noch vom Arzte besonders auf dem Lande verlangt, dass er auf die alleinige Besichtigung des Harnes hin seine ärztlichen Massnahmen treffe. — Es ist das ein Ueberrest aus einer Zeit, die noch nicht so lange und weit hinter uns liegt, als wir uns gern schmeicheln, in welcher der Arzt, und zwar nicht nur der gewissenlose, es für eine Ehre hielt, wenn es von ihm hiess, dass er die Krankheiten allein schon aus der Urinbesichtigung erkennen könnte.

Als in der Mitte dieses Jahrhunderts die chemische Methode vor Allem durch Liebig, durch seine Schüler und Gegner, in die Medicin und Physiologie eingeführt wurde, war es zuerst der Harn, dessen Untersuchung die Aufmerksamkeit der Aerzte auf sich lenkte. Der Harn, der diagnostisch so wichtig ist, sollte nach allen Richtungen chemisch durchforscht werden. Man knüpfte die weitgehendsten Hoffnungen an diese Untersuchungen. Vor Allem erwartete man, neue diagnostische Hülfsmittel von ihm zu gewinnen, aber auch die altbekannten suchte man durch genauere quantitative Bestimmungen der Harnbestandtheile zu fixiren, auf einen wahrhaft wissenschaftlichen Ausdruck zu bringen.

Die alte Harninspektion hatte sich um die äusseren Verhältnisse, die Nahrungsaufnahme des Patienten nicht gekümmert. Es war nicht nöthig, dass die Harnmenge, die man betrachtete, die Gesammtquantität von einer bestimmten, bekannten Zeit war, jede kleine Portion genügte für ihre einfachen diagnostischen Zwecke.

Liebig hatte leichte Methoden zur Bestimmung der wichtigsten Harnbestandtheile geschaffen, die sich von Jedem, der auch sonst keine chemische Ausbildung besitzt, mit einiger Aufmerksamkeit erlernen und ausführen lassen. Zu den Liebig'schen kamen bald für andere Stoffe ähnlich leicht ausführbare analytische Methoden hinzu. Nun glaubte sich Jeder berechtigt, bei der quantitativen chemischen Untersuchung des Harnes selbst mit Hand anzulegen. Was man bestimmte, wurde auch veröffentlicht. So entstand ein Wust von chemischen Harn-Untersuchungen.

Es ging eine Reihe wichtiger Untersuchungen in diesem Gebiete aus berufenen Händen hervor. Die überwiegende Mehrzahl der Untersuchungen aber verleugnete nicht nur ein Verständniss dessen, was man mit chemischen Untersuchungen erreichen kann, sondern sogar eine verständige Fragestellung an die Natur, eine Berücksichtigung der physiologischen Verhältnisse, die ja durch die Störungen einzelner Organfunctionen, wie sie in Krankheiten sich finden, im Principe nicht verändert werden.

Man hoffte, es würde sich für jedes Krankheitsbild auch eine bestimmte Qualität des Harnes auffinden lassen, so dass die Diagnose direct aus der Harnanalyse sich ergeben würde.

Es schien nur nöthig zu sein, den Harn von Kranken, die an genau diagnosticirten Krankheiten litten, zu untersuchen, um ein Normalschema der Zusammensetzung des Harnes für die betreffende Krankheitsform aufstellen zu können.

Vor Allem waren es quantitative procentische Bestimmungen einzelner, normaler Harnbestandtheile, die man unternahm. Aber man vergass dabei nur zu oft, dass es keinen Zweck haben kann, aus einer unbekannt grossen Stoffmenge eine Quantität herauszunehmen und nun in dieser Portion mit mehr oder weniger Genauigkeit einzelne Bestandtheile quantitativ zu bestimmen. Man kann daraus durchaus keinen Schluss, wie man es doch versuchte, auf Vermehrung oder Verminderung der bestimmten Stoffe durch den Krankheitsprocess ziehen. Quantitative Bestimmungen, welche selbstverständlich nur eine Vermehrung, Verminderung oder ein Gleichbleiben der Ausscheidungsmengen ergeben können, haben nur dann Bedeutung, wenn sie sich nicht nur auf einen grösseren Zeitabschnitt meist 24 Stunden beziehen, sondern auch diesen mit anderen ebenso grossen Zeitabschnitten vergleichen. Dass hierbei alle Sorgfalt auf die Bestimmung der Gesammtharnquantität für die Untersuchungsperiode zu verwenden ist, versteht sich von selbst. Nur wenn die Gesammtharnmenge vollkommen richtig bestimmt ist, wenn davon Nichts verloren gegangen ist, hat eine quantitative Analyse möglicher Weise einen Werth.

Man glaubte aus der procentischen Zusammensetzung des Harns Schlüsse ziehen zu können. Es ist das vollkommen unmöglich. Die grossen oben dargelegten Verschiedenheiten in der Wasserabgabe durch Haut und Nieren, die bei sonst gleichbleibenden inneren Verhältnissen den Concentrationsgrad des Harnes auf das Wesentlichste verändern können, machen alle derartigen Versuche illusorisch. Man kann durch unzählige Beispiele nachweisen, dass der procentische Gehalt des Harnes an einem Stoffe meist gar keinen Aufschluss über die Ausscheidungsgrösse ergibt, dass eine Abnahme des Procentgehaltes in unzähligen Fällen geradezu mit einer Steigerung in der Gesammtausscheidungsquantität verbunden ist. Wir haben z. B. gesehen, dass durch Wassertrinken die Menge des in 24 Stunden aus dem Körper durch die Nieren austretenden Harnstoffs und Kochsalzes gemehrt werden kann. Der Harn, der dabei ausgeschieden wird, ist oft ungemein verdünnt, so dass die alleinige Berücksichtigung der procentischen Zusammensetzung trotz der absoluten Vermehrung in den Ausscheidungen eine sehr bedeutende Verminderung ergeben würde.

Wenn schon der Forderung der exakten Aufsammlung der Gesammtmenge des Harns für eine längere Zeitperiode bei Kranken nur mit grosser Mühe zu genügen ist, so tritt dem Arzte bei quantitativen Harnanalysen in der dazu nothwendigen Regulirung der Nahrung eine kaum zu überwindende Schwierigkeit entgegen. Die Physiologie lehrt uns, dass die Quantitäten der in einer bestimmten grösseren Zeit im Harn ausgeschiedenen Stoffe vor Allem von der während derselben Zeit aufgenommenen Nahrung abhängig seien. Es entsprechen in normalen Körperverhältnissen die Ausscheidungsquantitäten der Nahrungsmenge; wir sehen bei gerade genügender Nahrungszufuhr einen Gleichgewichtszustand in den Aufnahmen und Ausscheidungen, z. B. des Stickstoffs, eintreten. Dann ist die Menge der im Harn ausgeschiedenen Stoffe allein abhängig von der Nahrung: Stickstoffgleichgewicht Voit.

Eine ähnliche Abhängigkeit von der Nahrung zeigen die Ausscheidungen im Harne auch in einer mehr indirecten Weise. Die Untersuchungen haben mit aller Sicherheit ergeben, dass die Quantität der Körperausscheidungen, ganz abgesehen von Nahrungsaufnahme im Hungerzustande während der Versuchsperiode selbst, abhängig sei von der vorausgegangenen Ernährungsweise. Je reicher die Nahrung vorher war, desto reicher zeigt sich auch der Harn in der Folgezeit. Alle die tausendfältig, bei jedem Einzelnen wieder verschiedenen, ewig wechselnden Körperzustände, die wir durch die Nahrungsverhältnisse bedingt sahen, sind von Einfluss auf die Harnausscheidung. Wir wissen, dass die verschiedensten Nahrungssätze je nach den verschiedensten Körperzuständen der Essenden für die Erhaltung des Körpers die gleiche Wirkung hervorbringen können, während wir andererseits ebenso häufig sehen, dass gleiche Nahrungsbedingungen bei verschiedenen Individuen zu den abweichendsten Resultaten in Be-

ziehung auf ihren Körper und damit auf die Harnausscheidung führen. Diese Einflüsse der Nahrung auf die Harnbildung zeigen sich so mächtig, dass man beinahe zweifeln könnte, ob quantitative Harnanalysen in Krankheiten irgend welche Aufschlüsse ergeben können. Es ist in der Ueberzahl der Fälle — in Spitälern nicht weniger wie in der Privatpraxis — geradezu unausführbar, die Krankennahrung so zu regeln, dass sich der Arzt mit der Sicherheit, wie sie zu einer quantitativen Vergleichung nöthig ist, von ihrer chemischen Zusammensetzung Rechenschaft geben könnte.

Wenn man aus einem Mehr oder Minder in der Harnausscheidung Schlüsse auf die Stoffverbrauchsverhältnisse im Organismus ziehen will, muss man als erste Bedingung die Quantitäten der eingeführten Stoffe nicht nur approximativ kennen. Und Jeder, der es versucht, wird finden, wie ungemein schwierig eine genaue chemische Regulirung der Nahrung schon bei Gesunden ist. Um zu erfahren, welche Stoffe und welche Quantitaten davon aufgenommen worden sind, genügt es, wie ich gezeigt habe, in den meisten Fällen nicht, nach der Zubereitung der Speisen diese der genauesten chemischen Analyse zu unterwerfen. Die Quantitaten der festen Nahrungsstoffe, die man zu einer Analyse verwenden kann, sind relativ so klein, dass wir auch aus mehreren Analysen, geschweige denn aus einer, keine irgend brauchbare Mittelzahl erhalten können, da die verschiedenen Schichten derselben Speise vermöge der Zubereitungsweise sehr verschiedene chemische Zusammensetzung erkennen lassen. Bei dem Brote leuchtet es ein, dass die Rinde, welche an einer Stelle mehr, an einer anderen weniger bei dem Processe des Backens verändert worden ist, jeder genauen Durchschnittsbestimmung ihrer Zusammensetzung trotzen wird. Bei dem gebratenen Fleische ist der Fettgehalt in den äusseren Partien von dem in den inneren um mehrere Procente verschieden, natürlich ebenso der Stickstoffgehalt, wie mir directe Untersuchungen ergeben haben. Aehnlich ist es fast bei allen Speisen. Es muss also, wenn die Nahrung geregelt werden soll, mit all den Cautelen verfahren werden, wie sie bei den Ernährungsversuchen namhaft gemacht worden sind. Das zur Nahrung verwendete magere Fleisch muss auch hier frisch mit der Scheere von jedem sichtbaren Fettpartikelchen befreit werden, damit seine Zusammensetzung möglichst konstant ist; alle zur Zubereitung verwendeten Zuthaten, Salz, Fett, Gemüse, Obst, Brot etc., verlangen die genaueste chemische Analyse. Die Zubereitung muss, damit Nichts verloren geht (z. B. in den Kochgeschirren anhaften bleibt), von dem Untersuchenden selbst geleitet werden. Und schliesslich muss der zu Ernährende das Gekochte vollkommen aufessen, wenn der Rest nicht einer neuen chemischen Analyse unterworfen werden soll. So stellen sich also den quantitativen Harnbestimmungen zu ärztlichen Zwecken Hindernisse über Hindernisse in den Weg, welche, so wie die Sachen stehen, in den meisten Fällen kaum überwindbar scheinen.

Doch gibt es ein Verfahren, welches den aus der Ernährungsweise hervorgehenden Theil der Schwierigkeiten leichter vermeiden lässt. Der Arzt kann mit Aussicht auf Erfolg quantitative Harnanalysen am besten an ganz oder nahezu hungernden Individuen vornehmen. Viele Körperzustände bei Kranken geben dazu einfache Gelegenheit, da ja so häufig alle Nahrung verweigert wird.

In anderen Fällen kann durch Darreichung flüssiger oder breiiger Nahrungsmittel, die verhältnissmässig leichter chemisch zu untersuchen sind, die Aufgabe wesentlich erleichtert werden. Alles, was flüssig oder breiig gereicht werden kann, erlaubt nach sorgfältiger Mischung eine Durchschnittsanalyse, die auch einen etwa nicht genossenen Rest leicht in seiner chemischen Zusammensetzung berechnen lässt. Immerhin bleiben auch dann doch grosse Bedenken, welche eine quantitative Harnanalyse nur bei ganz scharfer Fragestellung, bei genauer Ueberlegung, was sie leisten soll und kann, mit aller Rücksicht auf das bekannte schwankende Verhalten der physiologischen Harnausscheidung von erkennbarem Nutzen für den Arzt erscheinen lassen.

Für den Arzt erscheinen die quantitativen Harnbestimmungen meist nur

von geringer Bedeutung, von grosser aber die qualitativen. Sie stellen sich auf den Boden der alten Harninspection, welcher, so viel Schwindel sie hervorgerufen hat, ein sehr bedeutender, diagnostischer Werth nicht abgesprochen werden kann.

Der Harn zeigt bei verschiedenen Körperzuständen gewisse Veränderungen, welche letztere uns sicher bestimmte und oft ganz unentbehrliche Anhaltspunkte zur Erkennung des ersteren liefern können. Manche Gesammt- und Lokalleiden des Organismus sind geradezu mit Sicherheit nur aus der Untersuchung des Harnes zu erkennen.

Ausser den oben genannten normalen Bestandtheilen enthält der Harn in Krankheiten, abgesehen von medicamentösen Veränderungen, noch eine Reihe anderer Stoffe, wie: Albumin, Fibrin, Blutfarbstoff, Gallenfarbstoffe, Gallensäuren, Leucin, Tyrosin, Cystin, Zucker (Inosit), Fette. Die Farbe, der Geruch, das specifische Gewicht des Harnes können Veränderungen zeigen, welche gewisse Schlüsse auf Körperzustände gestatten. Es können sich Niederschläge (Sedimente), Zumischung organisirter Stoffe in dem Harne vorfinden.

Die Ansicht, dass den einzelnen Krankheitsformen eine bestimmte, für dieselbe charakteristische Beschaffenheit des Harns entspreche, gilt nur für diejenigen Krankheiten, welche gerade von einer bestimmten Veränderung des normalen Verhaltens des Harnes ihre Bezeichnung entlehnen. Natürlich muss z. B. bei Albuminurie der Harn Eiweiss enthalten, bei Hämaturie Blut, in der Zuckerharnruhr (Glycosurie oder Diabetes mellitus) Zucker. In anderen Krankheiten, wie bei Typhus, Pneumonie etc., ergibt der Harn an sich bis jetzt kein charakteristisches Zeichen für die Erkennung des Krankheitsprocesses selbst, dagegen können gewisse Complicationen der Krankheit verändernd auf den Harn einwirken.

Häufig vermag die qualitative Harnuntersuchung dem Arzt ganz specielle Aufschlüsse zu ertheilen, die besonders dann von Werth sein werden, wenn es sich um Behandlung Abwesender handelt. Man kann häufig schon aus dem blossen Ansehen erkennen, dass ein Kranker kein Fieber hat. Der Geruch des Harnes und seine Farbe verrathen gewisse Speisen oder Arzneien, die der Kranke zu sich genommen hat: Spargel, Terpentinöl (veilchenartig), Rhabarber etc. Samenfäden im Harne rühren meist von einer Pollution oder einem Coitus her; während der Menstruation enthält der Harn der Frauen Blutkörperchen in ziemlicher Menge etc.

Gehen wir etwas näher mit Benutzung der Arbeiten von Liebig, Gorup-Besanez, J. Vogel, Hoppe-Seyler, Neubauer, C. Voit u. A. auf einige wichtige Veränderungen des Harnes ein. Die in der Folge angeführten Titrirflüssigkeiten sind in vielen chemischen Fabriken (in München in der chemischen Fabrik von Karl Buchner) käuflich.

Harnfarbe (cf. S. 88). Die normale gelbe Farbe des Harns wechselt unter verschiedenen Umständen vom fast Farblosen bis zum Rothen und Rothbraunen. Die farblosen Harne deuten auf eine sehr bedeutende allgemeine Verdünnung mit sehr geringem specifischem Gewichte, wie sie z. B. durch übermässiges Wassertrinken (Wassercuren) erzeugt werden kann. Als Krankheitszeichen findet sich ein fast farbloser Harn bei Zuckerharnruhr, hier aber mit hohem specifischem Gewichte verbunden. Dunkle Färbung zeigen concentrirte Harne, z. B. nach Mahlzeiten, starken Bewegungen mit viel Schweiss und wenig Getränk. Sie setzen meist

bei dem Erkalten ein Sediment ab. Der Arzt nennt sie »hochgestellt«, sie sind charakteristisch für fieberhafte Erkrankungen. Blasser Harn schliesst mit fast absoluter Sicherheit eine heftigere acute, fieberhafte Krankheit aus.

Die Harnfarbe kann durch Blutfarbstoff verändert werden. Je nachdem mehr oder weniger Blut im Harne enthalten ist, wird die Farbe gelbroth, blutroth, braun bis schwarz. Der Nachweis des Blutes geschieht vor Allem mit dem Mikroskop, welches Blutkörperchen mehr oder weniger verändert nachweist (cf. unten S. 591, 592). Bluthaltiger Harn ist auch stets eiweisshaltig.

Die Gallefarbstoffe färben den Harn gelbgrün, braungrün, gelbbraun. Um sie nachzuweisen, benutzt man die Gmelin'sche Probe. Man bringt in ein Proberöhrchen von dem Harne herein und setzt nun vorsichtig rauchende, concentrirte Salpetersäure zu. Man lässt sie in das geneigte Probegläschen an der Wand hinabfliessen, so dass sich Harn und Salpetersäuren nicht mischen. Die schwerere Salpetersäure sinkt auf den Boden des Glases. An der Berührungsstelle des Harns mit der Säure bilden sich die bei dem Gallenfarbstoff beschriebenen Regenbogenfarben. Nach der Brücke-Fleischel'schen Modification der Gallenfarbstoffprobe setzt man zu der betreffenden Flüssigkeit in dem Probirgläschen eine concentrirte Lösung von salpetersaurem Natron (Chilisalpeter), und lässt in der eben für die Salpetersäure angegebenen vorsichtigen Weise concentrirte Schwefelsäure auf den Boden des Probirgläschens fliessen. Die Reaction ist schärfer, andauernder, die Farben schön geschichtet. Lässt man auf gallenfarbstoffhaltigen Harn in einem Probirröhrchen einige Tropfen Jodtinktur vorsichtig auffliessen, so tritt eine Grünfärbung an der Berührungszone ein; andere Harnfarbstoffe geben diese Reaction nicht (W. G. Smith). Der Schaum des gallenfarbstoffhaltigen Harns ist gelb gefärbt. Ein eingetauchtes weisses Filtrirpapier, das genässte Hemd, färbt sich bei einiger Intensität der Gallenbeimischung gelb. Gallenfarbstoff kommt im Harne namentlich bei Verschluss der Gallenwege in den Darm (Icterus) vor. Meist fehlen die Gallensäuren neben dem Farbstoffe nicht. Die Pettenkofer'sche Probe, welche auf der Rothfärbung der gallensäurehaltigen Flüssigkeit bei Zusatz von Rohrzucker und concentrirter Schwefelsäure beruht, gelingt im frischen Harn nur selten, öfter im eingedampften. Um die Gallensäuren sicher nachzuweisen, verdampft man im Wasserbade eine Portion Harn bis fast zur Trockne und zieht den Rückstand mit Alkohol aus. Den alkoholischen Extrakt lässt man wieder verdampfen, löst den Rückstand in wenig Wasser und bringt ihn für die Pettenkofer-sche Probe in ein Probirröhrchen. Nun setzt man 2—3 Tropfen Zuckerlösung (1 Theil Rohrzucker auf 4 Theile Wasser) und darauf reine, concentrirte Schwefelsäure zu. Die Flüssigkeit wird nach einiger Zeit (Schütteln) kirschroth, später purpurviolett. Man kann auch von dem trocknen Weingeistextrakt auf einem Porzellanscherben eine kleine Probe mit einem Tröpfchen Zuckerlösung und verdünnter Schwefelsäure zusammenreiben und nun auf einer möglichst kleinen Flamme bei ganz niedriger Temperatur, unter fortwährendem Anblasen und Wegnehmen von der Flamme, abdampfen. Die eingedampfte Masse wird dann schön purpurroth (Neukomm).

In manchen Harnen bildet sich beim Stehen hier und da ein blauer Niederschlag, indem aus dem farblosen Indican Indigo wird. Bei Gesunden und Kranken lässt sich öfters durch concentrirte Salzsäure und Chlorkalk aus dem Harn der blaue Farbstoff in reichlicher Menge fällen. Der Harn wird dann zuerst röthlich violett, später blau, grün. Senator mischt den zu prüfenden Harn mit der gleichen Menge rauchender Salzsäure (10—15 cc.), fügt dann tropfenweise bis zur vollständig eingetretenen Blaufärbung eine concentrirte Chlorkalklösung zu und schüttelt mit Chloroform, welches den frisch entstandenen Indigo rasch aufnimmt und absetzt. Man kann so die Indigomengen vergleichen. Bei Nierenkrankheiten (Morbus Brightii) soll dieser Farbstoff in grösserer Menge vorkommen und sich auch freiwillig absetzen. Die Behauptung Wolffberg's, dass Salicyl- und Benzoësäure sich im Körper in Indigo umwandeln, widerlegte Jaffé. Nach Jaffé entsteht das Indican aus dem bei der Pankreasverdauung der Eiweissstoffe auftretenden Indol durch Paarung mit einer zuckerähnlichen Substanz. Das meiste Indol wird mit den Exkrementen entleert, ist die Entleerung

derselben behindert, wie bei allen Leiden, welche eine Unwegsamkeit des Dünndarms herbeiführen, so erscheint die Indicanausscheidung beträchtlich vermehrt, so am beträchtlichsten bei Ileus und Peritonitis, aber auch bei gewissen, namentlich von Dünndarmaffectionen herrührenden Durchfällen: Brechdurchfällen, Typhusdurchfällen etc., nach Senator vorzüglich bei chronischen Inanitions- und Consumptionszuständen durch Verdauungsbehinderungen.

Eiweiss im Harne. Ist Blut im Harne nachzuweisen, so muss sich auch Eiweiss in ihm auffinden lassen. Bei abnorm gesteigertem Blutdruck findet sich öfters Eiweiss im Harn. Bei Erkrankungen der Nieren, welche zu einer Abstossung der Epithelien der Harncanälchen führen, besitzt der Harn stets einen mehr oder weniger beträchtlichen Eiweissgehalt. Aus dem durch das Abstossen der Epithelzellen nun nackten Stroma sickert aus den geöffneten Anfängen der Lymphgefässe direct eiweisshaltige Lymphe aus, die sich dem Harne beimischt. Die Anwesenheit der Epithelien in den gesunden Harncanälchen ist der Hauptgrund, warum aus dem Blute, welches in die Glomeruli eintritt, kein Eiweiss in den Harn austreten kann. Sind die Zellen entfernt, so tritt aus dem Blute mit den übrigen Stoffen auch Eiweiss in die Nierenausscheidung herein. Blut mit Blutkörperchen gelangt in den Harn durch Gefässzerreissung. Es versteht sich von selbst, dass diese Gefässzerreissung, wenn wir Blut im Harne finden, nicht in den Nieren selbst stattgefunden haben muss. Das Blut kann sich auf dem ganzen Wege, den der Harn zu durchlaufen hat, diesem mittheilen. Das Vorkommen von Menstrualblut im Harne zeigt, dass auch an der Harnröhrenmündung selbst noch eine solche Beimischung stattfinden kann. Eichhorst fand den Harn eiweisshaltig nach Injection von Hühnereiweiss in den Dickdarm

Zum Nachweis des Eiweisses erhitzt man eine kleine Menge des Harnes im Proberöhrchen, ohne Weiteres, wenn der Harn schon sauer reagirt, oder nach schwachem Ansäuern mit einem Tröpfchen verdünnter Essigsäure bei alkalischer oder neutraler Reaction, zum Kochen. Enthält der Harn Eiweiss, so entsteht bei 70° ein Coagulum oder eine mehr oder weniger dichte, flockige, weisse Trübung, welche auf Zusatz von Salzsäure nicht verschwindet. Verschwindet dabei der Niederschlag, was in alkalischem oder neutralem Harne geschehen kann, so bestand er nicht aus Eiweiss, sondern aus phosphorsauren Erden. Bei dem Ansäuern des Harnes zum Zweck der Albuminbestimmung hat man sich sorgfältig vor einem Ueberschuss von Essigsäure zu hüten, da diese in der Wärme das Albumin zu lösen vermag. Spuren von Eiweiss weist man am besten durch Erwärmen nach Zusatz von wenig Essigsäure und einigen Cubikcentimetern concentrirter Lösung von Kochsalz oder Magnesia sulfurica nach (Salkowski, Heynsius), da in salzreichen Flüssigkeiten das Eiweiss leichter gerinnt. In einer eiweisshaltigen Flüssigkeit, also auch im Harne, erzeugt Salpetersäure einen flockigen, weissen Niederschlag, der sich in sehr viel Wasser wieder löst. Neben dem Kochen ist auch diese Probe auf Eiweiss stets anzustellen. Die meisten Metallsalze, auch Alaun, bewirken in Eiweisslösungen Niederschläge. Um die Anwesenheit des Eiweisses nachzuweisen, kann man auch die Fällung mit Sublimat (Quecksilberchlorid) verwenden.

In manchen Fällen kann es wünschenswerth sein, nachzuweisen, ob das Eiweiss aus aufgelösten Blutkörperchen stammt. Die Harnfarbe muss dann auf Blut deuten. Das Eiweissgerinnsel in solchen Harnen ist dann meist rothbraun, oder röthlich gefärbt. Kocht man dieses Coagulum mit schwefelsäurehaltigem Alkohol, so wird derselbe durch Aufnahme von Blutfarbstoff roth oder rothbraun gefärbt. Auch das Spektroskop (S. 409) kann hier Aufschluss geben. Solche Harne finden sich bisweilen bei Scorbut, putriden, typhösen Fiebern, bei bösartigen Wechselfiebern, nach Einathmung von Arsenwasserstoffgas und, wie Bamberger gezeigt hat, nach Schwefelsäurevergiftung, alles Krankheiten, bei denen ein massenhafter Zerfall von Blutkörperchen (Blutdissolution) stattfindet: Haemoglobinurie.

Auch Beimischung von Eiter macht den Harn albuminhaltig.

Es versteht sich darnach von selbst, dass jeder Nachweis von Eiweiss im Harne eine mikroskopische Untersuchung, welche Rechenschaft über die Quellen dieser abnormen Zumischung ergeben soll, erfordert.

Wenn viel Blut im Harne enthalten ist, so wird sich in ihm auch Faserstoff oder auch fibrinogene Substanz finden. Die Blutcoagula sind so charakteristisch, dass sie sich auch mit freiem Auge nicht verkennen lassen. Manchmal sind die Blutcoagula bei Blutungen in die Harnwege so mächtig, dass sie letztere verstopfen. Findet die Gerinnung in den Harnleitern statt, so können wurmförmige, lange Coagula, die man schon fälschlich für Würmer genommen hat, mit dem Harne entleert werden. Weiter unten werden wir noch mikroskopische Faserstoffcylinder im Harne kennen lernen. In manchen Fällen scheidet sich der Faserstoff erst nach einigen Stunden Stehen aus. Selten — in tropischen Gegenden häufiger (nach Rayer auf Isle de France) — kommt ein coagulabler Harn ohne Bluteinmischung vor. Die Zumischung der Fibringeneratoren stammt aus einem Transsudat, das sich abnormerweise in den Harn ergossen hat (Lymphe cf. oben).

Pepton ist als normaler Bestandtheil des Harns mehrfach angegeben. E. Maixner findet es im Allgemeinen nicht konstant, dagegen regelmässig bei allen Eiterungskrankheiten, wenn die Eiteransammlung eine bedeutendere war: bei Pleuro- und Peritonealexsudaten, Congestivabscessen, Bronchoblennorrhoe, im Lösungsstadium der croupösen Pneumonie. Eiter enthält nach F. Hofmeister konstant Pepton, pneumonische Sputa nicht, nach Maixner; Blut, Ascitesflüssigkeit, frische Milch enthalten kein Pepton, in saurer Milch ist dagegen Pepton enthalten.

Ein Eiweissgehalt des Harnes hindert die chemische Bestimmung anderer Stoffe. Eiweisshaltiger Harn muss zu fast allen Bestimmungen zuerst von seinem Eiweiss befreit werden. Man coagulirt dazu dasselbe und filtrirt es ab. Der filtrirte Harn wird dann etwaigen anderen chemischen Proceduren unterworfen.

Für den quantitativen chemischen Nachweis des Eiweisses wird meist das durch Kochen des sauren Harns erhaltene Eiweissgerinsel auf einem bei 100° C. getrockneten aschefreien Filter abfiltrirt, vollkommen ausgewaschen, bei 100° getrocknet und gewogen. Die Berechnung der Resultate cf. bei Harnsäure.

Quantitative optische Eiweissprobe nach Vogel. Ihr System entspricht der Vogel'schen Milchprobe (cf. S. 167). Eine von suspendirten Eiweisstheilchen trübe Flüssigkeit wird soweit mit Wasser verdünnt, bis sie in einer Schicht von bestimmter, gleichbleibender Dicke eben undurchsichtig geworden ist. Hat man ein für alle Male den Procentgehalt der Flüssigkeit an suspendirten Theilchen bis zu diesem Grenzpunkt für die verwendete Schichtendicke bestimmt, so kann man in der Folge aus der optischen Probe direct den Procentgehalt des Harns an Eiweiss, und aus der Gesammtharnmenge die absolute Quantität desselben berechnen. Die Methode lässt sich für alle Flüssigkeiten mit gleichmässiger Trübung verwenden, wie sich auch eine solche bei genügend verdünntem saurem Harn nach dem Kochen findet. Der Hauptapparat zur Eiweissprobe ist der Trog, ein viereckiges, 7 cm langes und ebenso breites Eisenblech, das zu einer Rinne zusammengebogen ist, deren Ränder sich bis auf 1 cm nähern. Vorne und hinten ist dieser Blechtrog mit keilförmigen Gläschen verschlossen, welche parallel gestellt sind und genau 6,5 cm von einander abstehen. Die Rinne ruht auf einem zweckmässigen Fuss zum Stellen und Halten. Ausserdem bedarf man noch einer feinen Pipette von 10 cc Inhalt, in 0,1 cc getheilt, zum Abmessen des Harns, und ein Messgefäss für 100 cc, dann noch Proberöhrchen, Lampe, Kerze. Hat man die Gesammtmenge, das specifische Gewicht und die Reaktion des Harns bestimmt, so misst man mit der feinen Pipette zunächst 6 cc Harn in das Messgefäss, verdünnt mit destillirtem Wasser bis zur Marke = 100 cc, und schüttelt die Flüssigkeit gut durch, was am besten durch mehrmaliges Umgiessen erreicht wird. Von dieser Verdünnung kocht man 5—6 cc in einem Proberöhrchen mehrmals auf, und kühlt Rohr und Flüssigkeit in kaltem Wasser ab. Von der abgekühlten Probe giesst man in den Trog, und visirt nun mit einem Auge durch die Flüssigkeitsschicht nach der Flamme einer an einem dunklen Orte (Ecke) des Zimmers aufgestellten Stearinkerze. Ist der Lichtkegel noch sichtbar, so hat man eine neue Probe ganz wie die erste, aber mit etwas mehr Harn zu machen; ist das Licht schon bei der ersten Probe verschwunden,

so hat man umgekehrt eine neue Probe mit weniger Harn anzustellen. Durch mehrfache Proben findet man so die Harnmenge, bei welcher auf 100 cc verdünnt der Lichtkegel eben nicht mehr sichtbar ist. Hat man z. B. bei einer 24stündigen Harnmenge von 2600 cc, 9 cc Harn zur Vollendung der Probe verbraucht, so dividirt man mit dieser Zahl 9 in 2,3553, der durch vielfältige Versuche bestimmten Zahl für die absolute Eiweissmenge, welche in der verbrauchten Harnmenge vorhanden sein muss, um die Schlussreaktion herbeizuführen. Die gefundene Grösse 0,2617 gibt die procentische Eiweissmenge des untersuchten Harnes an. Um die absolute Quantität des in 24 Stunden ausgeschiedenen Eiweisses zu berechnen, multiplicirt man die Zahl für die procentische Eiweissmenge (in unserem Beispiel 0,2617) mit der Zahl der im Tage entleerten Cubikcentimeter Harn (nach unserer Annahme 2600 cc), und dividirt mit 100. Die Rechnung ist also folgende:

$$\frac{2,3553}{9} \times \frac{2600}{100} = 6,8042 \text{ Gramm Eiweiss.}$$

Die Resultate sind sehr genau und bei einiger Uebung rasch zu erlangen. C. WAIBEL bestimmte in meinem Laboratorium bei Albuminurie 24stündige Eiweissmengen von 6,0 Gramm — 0,21 Gramm.

Die beliebte klinische Schätzungsmethode der Eiweissmenge, bei der man den aus einer annähernd gleichen, im Proberohrchen geschätzten Harnmenge an verschiedenen Tagen beim Kochen niederfallenden Eiweissabsatz schätzend vergleicht, gibt zu den oben schon gedachten Irrthümern Veranlassung. Der Eiweissniederschlag in der Probe kann heute massiger sein, als den Tag vorher, und die Gesammteiweissmenge hat nichts destoweniger abgenommen, da die ausgeschiedene Harnmenge noch bedeutender als das Eiweiss vermindert ist; das Gleiche gilt im umgekehrten Fall.

ESBACH empfiehlt die Fällung des Eiweisses durch **Pikrinsäure**. Die Höhe des Niederschlags wird gemessen, oder die Trübung durch Wasserzusatz nach dem VOGEL'schen Princip bestimmt.

Die VOGEL'sche optische Eiweissbestimmung gibt auch brauchbare Resultate bei anderen animalen eiweisshaltigen Flüssigkeiten, wenn es gelingt, die Eiweissmenge vollkommen zur flockigen Ausscheidung zu bringen. Zu diesem Zweck müssen diese Flüssigkeiten meist sehr stark mit Wasser verdünnt, mit Essigsäure angesäuert und ihnen dann vor der Fällung durch Kochen noch einige Cubikcentimeter concentrirte Kochsalzlösung oder schwefelsaure Magnesia zugesetzt werden (cf. oben).

Der Circumpolarisationsapparat und seine Anwendung. — Eine optische Eiweissbestimmung und Zuckerbestimmung gestattet die Verwendung des Polarisationsapparates. Gewisse organische Stoffe, meist von hohem Molekulargewicht, haben in Lösung bekanntlich die Eigenschaft, die Polarisationsebene des Lichtes zu drehen, und zwar entweder nach rechts, rechtsdrehende, oder nach links, linksdrehende Stoffe. Nicht drehende Stoffe heissen optisch inaktiv. Das »specifische Drehungsvermögen« der »optisch aktiven« Stoffe ist eine feste Grösse. Man versteht darunter die Drehung, welche 1 Gramm Substanz in 1 cc Flüssigkeit gelöst bei 1 Decimeter Länge der Röhre für gelbes Licht bewirkt. Das Circumpolarisationsvermögen einer Lösung ist dem Inhalte derselben an polarisirender Substanz gerade proportional, wodurch die Bestimmung des Drehungsvermögens einer Lösung, die einen uns bekannten optisch aktiven Stoff enthält, Aufschluss über die Menge dieses Stoffes in der Lösung gibt. Der MITSCHERLICH'sche Apparat ist der in Laboratorien gebräuchlichste. Genauere Resultate gibt der WENTZKE-SOLEIL'sche Apparat. Der erstere besitzt auf einem Stative ein feststehendes NICOL'sches Prisma, dahinter eine planconvexe Glaslinse. In entsprechender Entfernung, so dass man eine mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllte Röhre dazwischen legen kann, befindet sich ein drehbares NICOL'sches Prisma in dem Centrum eines in Grade getheilten Kreises, in welchem es mittelst eines Griffes um seine Axe gedreht werden kann; ein am Prisma angebrachter Zeiger mit Nonius lässt die Drehung des Prisma am Theilkreise ablesen.

Zur Ausführung der Beobachtung richtet man das erstgenannte Prisma des leeren Appa-

rates gegen eine dicht davorstehende helle Petroleumlampe im verdunkelten Zimmer und blickt durch das zweite im Theilkreis befindliche Prisma, dessen Zeiger auf 0° steht, gegen die Flamme. Bei richtiger Einstellung (bei 0° und 180°) trennt ein vertikaler schwarzer Streif das erhellte Gesichtsfeld in zwei Theile. Man legt nun die mit der zu prüfenden Flüssigkeit gefüllte Röhre, die in der Mitte eine Eingussöffnung besitzt und an beiden Enden mit parallelen, zum Zwecke der Reinigung abschraubbaren Glasplättchen geschlossen ist, in den Röhrenträger zwischen die beiden Nicols. Ist der schwarze Streifen noch unverrückt vorhanden, so ist die Flüssigkeit inaktiv, ist er bei Anwesenheit einer aktiven Substanz verschoben oder verschwunden, so dreht man an dem Zeiger, wobei nun farbiges Licht in bestimmter Reihenfolge auftritt, entweder bis der schwarze Streifen, wenn er noch vorhanden ist, wieder in seiner alten Stellung sich befindet, wobei dann auf seiner einen Seite rothes, auf der anderen Seite blaues Licht sich zeigt, oder, wenn der schwarze Streifen ganz verschwunden ist, bis genau die eine Hälfte des Gesichtsfeldes roth, die andere blau ist. Nun liest man die Zeigerstellung ab. Ist die specifische Drehung der gelösten Substanz (z. B. bei Zucker + 56 und bei Serumeiweiss — 56) bekannt, so ist die Berechnung der Resultate sehr einfach. Ist α die beobachtete, genau abgelesene Drehung und a die bekannte specifische Drehung (z. B. 56) und l die Röhrenlänge, so ist $p = \frac{\alpha}{a \cdot l}$, wo p das Gewicht des drehenden Stoffes in Gramm in 1 Cubcm. der Lösung ausdrückt. Die zu untersuchende Flüssigkeit muss möglichst klar und ungefärbt sein. Die Ausführung der Beobachtung im Harn bei Eiweiss und Zucker ergibt sich aus dem Gesagten. Zur Berechnung auf 24 Stunden hat man das optische Resultat einfach mit der Harnmenge, in Cubikcentimetern ausgedrückt, zu multipliciren. Bestimmt man Zucker, so dreht man dabei an dem Griff das Probe-Nicol von 0° nach rechts, bei Eiweiss von 0° nach links.

Zucker im Harne. Der Harn soll Traubenzucker schon im normalen Zustande des Organismus in geringen Spuren enthalten (Brücke), was J. Seegen und Külz leugnen, Abeles dagegen bestätigt haben will. Eichhorst, de Sinéty u. A. fanden relativ beträchtlichere Zuckermengen im Harne von Säuglingen bei Milchnahrung, bei Hunden nach Milchinjection in den Dickdarm, auch im Harne säugender Thiere und Menschen. Bei säugenden Frauen sah A. Hempel den Zucker gleichzeitig mit dem Eintritt stärkerer Sekretion der Milchdrüsen auftreten. Bei längerer Stauung des Sekrets in den Drüsen steigt die Zuckermenge im Harne, im Maximum fand er in 24 Stunden in 1260 cc Harn 17,3 Gramm Zucker. W. Johannowsky findet, dass das Auftreten von Zucker im Harne nur bei einer relativ geringen Anzahl von stillenden Müttern (in 4 Fällen unter 25) auftritt, auch er fand die Stauung der Milch in den Drüsen hierbei als wirksamste Ursache.

In dem pathologischen Zustande des Diabetes mellitus oder der Zuckerharnruhr findet sich eine so gesteigerte Zuckermenge im Harne, dass der Zuckernachweis keine Schwierigkeit für einen einigermassen Geübten besitzt. Nur, wenn der Zucker im Harne leicht nachweisbar ist, ist er für den Arzt von Bedeutung.

Der Verdacht auf einen Zuckergehalt des Harnes entsteht, wenn der Harn in sehr grossen Massen und sehr wenig gefärbt entleert wird, und trotzdem ein höheres specifisches Gewicht besitzt, als seine scheinbare Verdünnung vermuthen liesse (1023—1030 und mehr).

Füllt man in ein enges Proberöhrchen von dem auf Zucker zu prüfenden Harn ein, setzt Natronlauge zu, schüttelt, um beide zu mischen, und erhitzt nun den oberen Theil der Mischung, so färbt sich dieser bei Gegenwart von Zucker rothbraun (Maas'sche Probe).

Um die Trommer'sche Probe zu machen (cf. S. 81), versetzt man Harn in einem Proberöhrchen mit etwas Natronlauge und setzt nun vorsichtig eine geringe Menge einer sehr verdünnten Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd zu, bis eben eine ganz geringe flockige Trübung in der Mischung eintritt, die sich trotz der starken Verdünnung der Kupferlösung schön blau färbt. Bei geringen Zuckermengen ist es besser, nur eine so geringe Kupferquantität zuzusetzen, dass noch keine Trübung deutlich wird. Erwärmt man die Mischung, so wird sie zuerst an der Oberfläche missfarbig, dann gelb, später setzt sich ein schön rother Niederschlag von reducirtem Kupferoxydul ab.

Bei der Böttcher'schen Probe setzt man zu dem Harn in der Proberohre eine kleine Messerspitze von dem officinellen basisch salpetersauren Wismuthoxyd (Magisterium Bismuthi), alsdann eine reichliche Menge concentrirter Lösung von kohlensaurem Natron oder etwas Aetzkalilauge und erhitzt längere Zeit anhaltend zum Sieden. Bei der Anwesenheit von Traubenzucker färbt sich das zugesetzte Wismuthsalz grau und endlich schwarz durch Reduktion des Wismuthoxyds.

Verdampft man einige Tropfen eines zuckerhaltigen Harnes bei 100° C. zur Trockne und befeuchtet den Rückstand mit einigen Tropfen verdünnter Schwefelsäure und dampft wieder ab (auf einem Porzellanscherben), so entsteht ein intensiv schwarzer Fleck.

Bringt man zuckerhaltigen Harn mit Hefe zusammen, so wird, besonders rasch in einer mittleren Temperatur von 20—25° C., eine Gährung eintreten, welche Alkohol liefert. Man bringt in ein mit Quecksilber gefülltes, in Quecksilber umgestürztes, oben zugeschmolzenes Glasrohr (Proberöhrchen) mittelst einer hakenförmig gebogenen, vorne zu einer feineren Spitze ausgezogenen Glasröhre (Pipette) etwas von dem zuckerhaltigen Harne, den man mit wenig Hefe versetzt hat. Bei gewöhnlicher Zimmertemperatur zeigt sich bald Gasentwickelung (Kohlensäure). Lässt man in die Flüssigkeit mittelst einer gleichen Pipette etwas Kalilauge aufsteigen, so wird das entwickelte Gas vollständig absorbirt.

Ist der Harn so arm an Zucker, dass dessen Nachweis mit den genannten Proben nicht mit Sicherheit gelingt, so macht man nach Entfärbung durch mehrmaliges Filtriren durch Thierkohle (Seegen) ein weingeistiges Extrakt des Harnes, den man bei 100° bis fast zur Trockene verdampft hat. Der Weingeist wird verdunstet, der Rückstand wieder in Wasser gelost und mit ihm die Reduktionsprobe angestellt. Es besteht dann kein Diabetes. Entsteht im Harne keine schöne gelbe Färbung oder ein rother Niederschlag bei der Trommer'schen Reduktionsprobe, so darf man keinen krankhaften Gehalt an Zucker vermuthen. Eine Verfärbung, ein Missfarbigwerden, tritt bei der Reduktionsprobe in jedem Harne ein, da der Harn noch einige in geringem Grade wie Zucker reducirende Substanzen enthält: Kreatinin, Harnsäure.

Die quantitative Methode der Zuckerbestimmung wird besonders zur Controlle der therapeutischen (Karlsbad) oder diätetischen Erfolge (Fleischnahrung) bei Diabetes von Wichtigkeit. Die gebräuchlichste chemische Methode basirt auf der Trommer-schen Probe. 1 Aequivalent Krümelzucker (150) fällt das Kupfer aus 10 Aequivalenten Kupfervitriol (1247,5).

Zur Anfertigung der Titrirflüssigkeit der Fehling'schen Kupfervitriollösung löst man 34,65 Gramm reinen krystallisirten Kupfervitriol in genau 1000 cc Wasser auf; löst ferner 173 Gramm krystallisirtes, reines weinsaures Kalinatron in 600—700 Gramm Natronlauge von 1,12 spec. Gewicht und verdünnt die Lösung, bis ihr Volum genau 1 Liter beträgt. Die beiden Flüssigkeiten: Kupferlösung und die alkalische Lösung von weinsaurem Kalinatron, werden jede in einer eigenen Flasche gesondert aufbewahrt. Ein Gemisch beider Lösungen wird bei längerem Aufbewahren durch Zersetzung leicht unbrauchbar, so dass es beim Kochen ohne Zuckerzusatz reducirt wird.

Zur Ausführung der Analyse misst man je 20 cc von beiden Lösungen mit einer Pipette ab, lässt sie in einen Glaskolben oder eine weisse Porzellanschale fliessen und setzt etwa das 4fache Volumen Wasser zu. Nun bringt man von dem Harne, dessen Zuckergehalt bestimmt werden soll, 10 cc in ein Messgefäss und verdünnt, wenn er etwas concentrirt ist, bis auf 100 cc mit Wasser. Von der gut gemischten Flüssigkeit füllt man in eine Burette. Man erhitzt nun durch eine kleine Flamme die verdünnte Kupferlösung bis zum beginnenden Kochen, versetzt zuerst mit 2 cc des verdünnten Harnes, lässt ein paar Secunden kochen, stellt kalt und beobachtet, ob die Flüssigkeit noch blau bleibt. Ist dies noch der Fall, so setzt man, ganz in derselben Weise wie das erste Mal verfahrend, von 1 cc zu 1 cc fortschreitend, weiter Harn zu, bis die Flüssigkeit über dem entstandenen rothen Niederschlage gerade farblos geworden ist. Man liest dann an der Burette ab, wie viel Cubikcentimeter von dem verdünnten Harne bis zur vollkommenen Reduktion verbraucht wurden, und berechnet daraus den Procentgehalt des unverdünnten Harnes an Zucker.

1 cc der Kupfer-Lösung von der oben angegebenen Concentration bedarf genau 5 Milligramm Traubenzucker zur vollkommenen Reduktion alles Kupferoxyds. 20 cc entsprechen also 0,1 Gramm Zucker; die zur völligen Entfärbung der 20 cc Kupferlösung erforderliche Quantität Harn enthält also genau 0,1 Gramm Zucker. Waren nun z. B. zu der Reduktion der 20 cc Lösung 15,5 cc des verdünnten Harns erforderlich und war der Harn auf $^1/_{10}$ verdünnt, wie oben angegeben wurde, so entsprechen die 15,5 cc der Verdünnung 1,55 cc Harn. Diese 1,55 cc Harn enthalten genau 0,1 Gramm Zucker, in 100 cc Harn sind also:

$$\frac{100 \cdot 0{,}1}{1{,}55} = 6{,}45 \text{ Gramm Zucker.}$$

Diese Zahl hat man, um die 24stündige Menge des Zuckers zu finden, mit der Gesammtmenge des Harnes, in Cubikcentimetern ausgedrückt, zu multipliciren und mit 100 zu dividiren.

Die LIEBIG-KNAPP'sche chemische Methode der quantitativen Zuckerbestimmungen gründet sich darauf, dass Traubenzucker in alkalischer Lösung Cyanquecksilber zu metallischem Quecksilber reducirt. Man löst 100 Gramm reines, trocknes Cyanquecksilber in Wasser, setzt 100 cc Natronlauge von 1,145 spec. Gewicht zu und verdünnt zum Liter. Mit dieser Lösung wird die Titrirung wie nach der FEHLING'schen Methode ausgeführt. Man bringt 40 cc der Quecksilberlösung, entsprechend 0,1 Gramm Traubenzucker, in einer Porzellanschale zum Sieden und setzt von der verdünnten Zuckerlösung (etwa 0,5 %) Zucker enthaltend) so lange zu, bis alles Quecksilber ausgefällt ist. Beim Beginn des Zusatzes trübt sich die Lösung, später wird sie klar und gelblich. Die Reaktion ist beendigt, wenn ein Tropfen der Lösung auf schwedischem Filtrirpapier durch darüber gehaltenes concentrirtes Schwefelammonium in einer halben Minute nicht mehr gebräunt wird. Gegen Ende der Reaktion zeigt sich nur noch ein schmaler brauner Ring am Rande des Tropfens, den man am besten beim Halten des Papiers gegen ein helles Fenster erkennt. Diese Endreaktion ist scharf, die Lösung ist haltbar. (Die optische Bestimmung des Zuckers durch Polarisation cf. bei Eiweiss, S. 593.)

Aerztliche Bemerkungen. — Diabetes mellitus. Die gesteigerte Zuckerausscheidung im Harne hat meist einen noch ziemlich dunkeln pathologischen Grund: pathologischer Diabetes. Er tritt hier und da nach sehr heftigen Gemüthsbewegungen auf, so dass wir dann wohl an eine centrale Ursache denken müssen. Experimentell kann Diabetes hervorgerufen werden durch Verletzung einer umschriebenen Stelle am Boden des vierten Ventrikels: Zuckerstich; ebenso durch Curare. BERNARD fand, dass der Zuckerstich unwirksam ist, wenn vorher die Splanchnici durchschnitten wurden. Es tritt Diabetes nach Durchschneidung der letzten Halsganglien ein (PARY) oder eines Brustganglions (ECKHARDT), wie es scheint durch vasomotorische Einflüsse. Nach SCHIFF's Behauptung bringt jede Circulationsstörung in grösseren Gefässbezirken durch Lähmung der Gefässnerven oder Unterbindung der Gefässe Diabetes hervor. FILEHNE sah bei Kaninchen, deren N. Depressor (centralen Stumpf) er elektrisch reizte, Zucker im Harne auftreten, was er auf Arterienerschlaffung bezieht. E. BISCHOFF fand bei zwei zur Section gekommenen Fällen von Diabetes Atheromatose der Arterien am Boden des vierten Ventrikels und dessen Umgegend, MARCKWORT fand Zucker im Harne nach einem Bluterguss in den vierten Ventrikel. Hier waren es also Ernährungsstörungen in Folge dieses Processes an jener Hirnpartie, deren experimentelle Verletzung Diabetes erzeugt. Wahrscheinlich sind öfter derartige oder analoge Störungen die eigentliche Krankheitsursache. TIEGEL weist experimentell zwei andere Ursachen der Zuckerharnruhr nach: Auflösung von Blutkörperchen, z. B. durch Aethereinspritzung, und Hyperämie der Leber; er konnte bei Fröschen durch mehrmalige Wiederholung des GOLTZ'schen Klopfversuchs an demselben Thier (Frosch) wobei venöse Blutanfüllung der Leber und der anderen Unterleibsorgane eintritt, in mehreren Fällen Diabetes erzeugen. Bei einem Fall von geringgradigem Diabetes sah ich umgekehrt den Zuckergehalt nach einem 4stündigen scharfen Ritt zeitweise verschwinden. Der Einfluss des Reitens auf die Blutentlastung der Unterleibsorgane, namentlich der Leber, ist bekannt (cf. meine Beobachtungen über Blutvertheilung

bei Muskelbewegung). Viele halten es für wahrscheinlich, dass bei Diabetes theils die Glycogen- oder Zuckerbildung in der Leber gesteigert, theils die Oxydation des Glycogens oder Zuckers gehindert sei. Bei Diabetikern enthält das Blutserum mehr Zucker, als bei Gesunden. Bringt man durch Injection von Zuckerlösung den Zuckergehalt des Blutes auf wenigstens 0,5% (LEHMANN), so geht der Zucker theilweise in den Harn über, was man auch durch übermässigen Zuckergenuss soll erreichen können. Bei Diabetikern nimmt der Zuckergehalt des Harns mit der reichlicheren Zufuhr von Kohlehydraten (Zucker, Stärkemehl) zu — mit der Zufuhr von albuminreicher Nahrung dagegen ab, doch konnte KÜLZ nachweisen, dass bei »schwerem Diabetes« eine gesteigerte Eiweisszufuhr als Nahrung die Zuckermengen auch vermehrt. K. ZIMMER schliesst aus seinen zahlreichen Beobachtungen und Versuchen, dass jede krankhafte Zuckerausscheidung überhaupt auf dem Darniederliegen der Glycogenbildung in den verschiedenen Geweben beruht. Nicht bloss in der Leber, sondern auch in anderen Organen, namentlich in den Muskeln werde Glycogen gebildet, die Störung der Glycogenbildung, welche zu Diabetes führt, könne bald in dem einen, bald in dem andern Organ ihren Sitz haben; so müsse man Leberdiabetes von Muskeldiabetes etc. unterscheiden. ZIMMER erklärt so z. Thl. die verschiedenen Formen der Krankheit und die verschiedene erforderliche Behandlungsweise. KÜLZ bestimmte in der Leber eines Diabetikers neben Zucker ziemlich reichlich normales Glycogen. Bei Thieren vermindert sich mit der Unterbindung des Ductus choledochus das Glycogen rasch und sehr bedeutend (KÜLZ und E. FRERICHS). Nach Vergiftungen, welche wie Arsenvergiftung den Glycogengehalt der Leber aufheben, kann man durch Zuckerstich künstlichen Diabetes nicht mehr erzeugen. Nach Curarevergiftung soll die Leber nicht reicher an Glycogen sein, als sonst. Auch andere Sekrete als der Harn enthalten bei Diabetikern Zucker. Der gesteigerte Durst der Diabetiker führt zu den enormen, bei diesem Leiden beobachteten Harnausscheidungen. Der Harn ist neben dem Zucker auch oft sehr reich an Harnstoff, dagegen wenigstens procentisch arm an Harnsäure; Kreatin und Kreatinin sollen öfters fehlen. Nach F. BÜRGER ist die Perspiratio insensibilis bei Diabetes bedeutend herabgesetzt.

Bei Diabetes insipidus wird bisweilen Inosit in geringen Mengen ausgeschieden. Nach C. BOCK und F. A. HOFMANN werden Kaninchen diabetisch, wenn man ihnen continuirlich eine 1% Kochsalzlösung in das Gefässsystem einleitet. E. KÜLZ constatirte, dass in Folge davon in geringen Mengen Inosit im Kaninchenharn nachzuweisen ist. Nach übermässiger Wasserzufuhr (6—10 Liter über die gewohnheitsgemässe Menge) tritt nach KÜLZ auch bei gesunden Menschen Inosit im Harne auf, er bestimmte 0,42—0,91 Gramm.

Die Bestimmung des Harnstoffs kann für den Arzt in qualitativer Beziehung nur selten von Wichtigkeit sein. Es müsste sich darum handeln, ob eine als Harn ausgegebene, verdächtig aussehende Flüssigkeit wirklich Harn ist, also Harnstoff enthält. Die von LIEBIG angegebene Methode der quantitativen Bestimmung des Harnstoffs im Harne durch Titrirung ist so einfach und leicht ausführbar, dass man sich ihrer in den meisten Fällen auch für qualitative Nachweisung bedienen wird. Der Harnstoff bildet mit Salpetersäure und Oxalsäure charakteristische schwerlösliche Verbindungen (s. unten bei Haut).

Das Princip der Methode LIEBIG's zur quantitativen Harnstoffbestimmung beruht in Folgendem: setzt man zu einer verdünnten reinen Harnstofflösung eine Lösung von salpetersaurem Quecksilberoxyd, so bildet sich sofort ein Niederschlag, bestehend aus Harnstoff, Salpetersäure und Quecksilberoxyd von konstanter Zusammensetzung. Bringt man zu einem Tropfen dieser Harnstoff-Quecksilbermischung einen Tropfen kohlensaures Natron, so entsteht so lange ein weisser Niederschlag, als noch nicht genügend salpetersaure Quecksilberoxydlösung zugesetzt ist, um allen Harnstoff auszufällen. Ist aber nur ein sehr geringer Ueberschuss von Quecksilberlösung zugefügt, so gibt kohlensaures Natron einen gelben Niederschlag. Dieser gelbe Niederschlag ist als Zeichen, dass nun aller Harnstoff ausgefällt ist, die Endreaktion bei der Harnstofftitrirung.

Im Harne finden sich neben dem Harnstoff phosphorsaure Salze und Chlor, welche die Harnstoffbestimmung erschweren. Die Phosphorsäure, welche mit Quecksilberoxydsalzen

auch einen Niederschlag gibt, muss vor der Harnstoffbestimmung ausgefällt werden. Um ganz genaue Harnstoffbestimmungen zu erhalten, muss aus dem Harne auch das Chlor entfernt werden, was durch Ausfallen mit Silberlösung möglich ist. Setzt man zu einer Harnstofflösung, welche Kochsalz enthält, salpetersaures Quecksilber zu, so setzt sich letzteres mit dem Kochsalz zu Quecksilberoxyd und salpetersaurem Natron um. Das Quecksilberchlorid fällt den Harnstoff nicht. Es entsteht also in einer gemischten Lösung von Harnstoff und Kochsalz wie im Harne erst dann der geforderte Niederschlag, wenn alles Chlor an Quecksilber getreten ist. LIEBIG gründete auf dieses Verhalten seine Chlorbestimmung im Harne, indem er den nach der Bindung des Chlors auftretenden Niederschlag mit Harnstoff als Endreaktion benutzte. Im Harne bedingt die Anwesenheit von Chlor einen manchmal nicht unbedeutenden Fehler der Harnstoffbestimmung. Man berechnet die Harnstoffmenge in der untersuchten Harnprobe nach der Zahl der zur Ausfällung verbrauchten Cubikcentimeter der salpetersauren Quecksilberoxydlösung. Das Kochsalz, welches einen Theil des zugesetzten Quecksilbersalzes für seine Umsetzung in Beschlag nimmt, wird also die Harnstoffmenge zu gross erscheinen lassen. Kennt man die im Harne enthaltene Chlormenge, so kann man auf einfache Weise an dem Resultat der Harnstoffbestimmung eine genügend scharfe Correction (Verminderung) anbringen. Nach LIEBIG zieht man für 10 cc Harn, die man titrirt hat, im Mittel 1,5—2,5 cc der verbrauchten Anzahl Cubikcentimeter Quecksilberlösung ab, was dem durchschnittlichen Chlorgehalt des Menschenharnes entspricht.

Zur Ausführung der Harnstofftitrirung bedarf man folgende Lösungen:

1) eine Lösung von kohlensaurem Natron, oder einen Brei von mit Wasser angerührtem doppelt kohlensaurem Natron.

2) eine Barytmischung. Man mischt 2 Volumen kalt gesättigtes Barytwasser (Aetzbaryt wird dazu in einer verschlossenen Flasche mit destillirtem Wasser übergossen und stehen gelassen unter öfterem Aufschütteln) und 1 Volum ebenfalls kalt gesättigter, ebenso bereiteter Lösung von salpetersaurem Baryt. Die Mischung muss in einer gut verschlossenen Flasche aufbewahrt werden.

3) eine Normalharnstofflösung. Sie ist eine Lösung von 2 Gramm, bei 100° C. gut getrockneten, reinen Harnstoffs in Wasser, die so verdünnt ist, dass sie gerade 100 cc beträgt.

4) titrirte salpetersaure Quecksilberoxydlösung. Um sie herzustellen (sie ist in chemischen Fabriken käuflich, muss aber dann vor dem Gebrauch auf ihre Stärke mit der Normalharnstofflösung geprüft werden), verdünnt man concentrirte Lösung von reinem salpetersauren Quecksilberoxyd (welche mit Chlornatrium keine Trübung geben darf) mit dem etwa 4fachen Volumen Wasser. Nach gehörigem Schütteln füllt man mit dieser verdünnten Lösung eine Burette. Dann misst man mit einer Pipette 10 cc der Normalharnstofflösung, welche 20 Milligramm Harnstoff enthalten, ab in ein kleines Becherglas. Nun setzt man einige Cubikcentimeter (2—3) der Quecksilberlösung zu, wodurch ein Niederschlag entsteht, rührt und mischt mit einem Glasstabe gut und nimmt dann aus dem Bechergläschen mit dem Glasstabe einen Tropfen heraus. Diesen setzt man auf eine Glasplatte, welche man auf schwarzes Papier gelegt hat, oder besser auf eine Porzellanplatte oder flachen Teller. Mit einem reinen Glasstabe bringt man einen Tropfen der kohlensauren Natronlösung mit dem ersten Tropfen so zusammen, dass man letzteren in die Mitte des ersteren von dem Glasstabe eintropfen lässt. Es entsteht dadurch ein begrenzter weisser Niederschlag, der auch nach einigen Secunden noch weiss bleibt, wenn noch kein Ueberschuss von Quecksilber zur Harnstofflösung zugesetzt ist. Man fährt nun mit dem Zusetzen der Quecksilberlösung aus der Burette zur Harnstofflösung von 1 cc zu 1 cc vorschreitend so lange fort, bis der erst entstehende weisse Niederschlag durch das eingetropfte kohlensaure Natron nach einigen Secunden gelb erscheint. Es zeigen sich zuerst in der weissen Masse gelbe Körnchen. Ist einmal der ganze Niederschlag citronengelb gefärbt, so hat man schon einen etwas zu grossen Ueberschuss von Quecksilber zugesetzt. Durch den Zusatz der Quecksilberlösung zur Harnstofflösung entsteht in dieser eine stark saure Reaktion, durch welche das Gelbwerden etwas zu früh

eintritt. Man setzt, wenn die erste leicht gelbe Färbung eingetreten ist, zur Mischung in das Becherglaschen so viel kohlensaure Natronlosung zu, dass die Reaktion nur noch eben schwach sauer ist. Dann muss man meist noch etwas Quecksilber zusetzen, um einen Ueberschuss gelbe Farbung des Tropfens mit kohlensaurem Natron, zu haben.

Die titrirte Quecksilberlosung soll so verdunnt sein, dass 1 cc von derselben etwa 10 Milligramm Harnstoff fallt und die gelbe Reaktion gibt. Man muss, wenn die Verdunnung richtig ist, also 10 cc der Quecksilberlosung zu 10 cc der Harnstofflosung, welche 20 Milligramm Harnstoff enthalten, geben. Hat man bei der geschilderten ersten Titrirung z. B. 6 cc der noch nicht richtig verdunnten Quecksilberlösung für die verwendeten 10 cc Harnstofflosung verbraucht, bis die gelbe Endreaktion eintrat, so wurden zu je 6 cc der Quecksilberlosung noch 14 cc Wasser zuzufügen sein, um die gewünschte Verdunnung zu erhalten. In Wirklichkeit darf man nicht ganz soviel Wasser zusetzen, da man dadurch die Losung zu sehr verdunnen wurde. Hat man die Verdünnung vorgenommen, so titrirt man von Neuem 10 cc der Harnstofflösung in der oben geschilderten Weise und stellt dadurch fest, wie viel Harnstoff genau 1 cc der Quecksilberlösung entspricht. Es liegt naturlich nicht viel daran, ob 1 cc gerade 10 Milligramm oder einer etwas grösseren oder kleineren Quantität Harnstoff entspricht. Die runde Zahl 10 erleichtert nur die Berechnung etwas.

Die Harnstoffbestimmung im Harne hat nach dem Gesagten keine wesentlichen Schwierigkeiten. Nachdem man die gesammte Harnmenge, welche während einer bestimmten Zeit, fur die man die Harnstoffausscheidung bestimmen will, meist 24 Stunden, wohl *gemischt* und genau mittelst eines Messglases *gemessen* hat, muss man sich zuerst überzeugen, ob der Harn eiweissfrei ist. Enthält er *Eiweiss*, so misst man 100 cc in einem Messgefässe ab und coagulirt in einer Porzellanschale das Eiweiss nach den oben angegebenen Regeln uber der Lampe. Nach dem Kochen bringt man die ganze Flüssigkeit in das Messgefäss zuruck, spült die Schale mit einigen Tropfen Wasser aus und ersetzt das bei dem Kochen verdunstete Wasser durch destillirtes, bis wieder 100 cc erreicht sind. Den Harn mit dem Niederschlag bringt man dann auf ein unangefeuchtetes Filter. Der filtrirte Harn kann nun ohne Weiteres genau so behandelt werden, wie eiweissfreier, ohne dass die Berechnung der Resultate etc. irgend welche Aenderung erleidet. Ebenso verfährt man bei der Zuckerbestimmung und allen anderen Bestimmungen in etwa eiweisshaltigem Harne.

Die *Phosphorsäure* und *Schwefelsäure* müssen nun zuerst aus dem Harne entfernt werden. Man misst dazu 2 Volumina Harn in ein Bechergläschen und versetzt sie mit 1 Volum der oben beschriebenen Barytmischung. Zu diesem Zwecke bedient man sich entweder einer Pipette, welche 20 cc abmessen lässt, die man zweimal mit Harn und einmal mit Barytmischung füllt; oder man füllt ein Proberöhrchen zweimal mit Harn und einmal mit der Barytmischung an. Um die Volummessung in dem Proberöhrchen genau zu machen, streicht man den Gipfel der Flüssigkeit an dem ganz gefüllten Proberöhrchen mit einem Uhrgläschen ab. Die zusammengegossenen Flüssigkeiten werden gut gemischt und auf ein *unbefeuchtetes* Filter gebracht. Von der filtrirten Flüssigkeit misst man mit einer 15 cc haltenden Pipette 15 cc heraus, welche nach der angegebenen Mischung 10 cc Harn enthalten.

Diese Harnflüssigkeit wird nun genau nach denselben Regeln titrirt, die oben bei der reinen Harnstofflösung angegeben wurden. Man setzt je 1 cc Quecksilberlösung zu und prüft jedesmal einen mit dem Glasstabe nach gutem Rühren herausgenommenen Tropfen auf der Glastafel mit schwarzer Unterlage oder auf der Porzellanplatte mittelst eines Tropfens kohlensauren Natrons. Tritt die erste Gelbfärbung des vorher weissen Niederschlags im Tropfen ein, so ist die Titrirung beendigt. Man liest nun die Zahl der verbrauchten Cubikcentimeter der Quecksilberlösung an der Burette ab. Hat man für die 10 cc Harn, welche in den titrirten 15 cc der filtrirten Harnmischung enthalten sind, 20 cc Quecksilberlösung verbraucht, von welcher je 1 cc 10 Milligramm Harnstoff entspricht, so enthalten die 10 cc Harn 0,2 Gramm Harnstoff, 100 cc also 2 Gramm. Um zu finden, wie viel Harnstoff im Tage (24 Stunden) ausgeschieden wurde, hat man nun eine sehr einfache Rechnung. Nehmen wir an, die Gesammtharnmenge in 24 Stunden hätte 1500 cc betragen, so wurden während dieser Zeit

ausgeschieden.

$$\frac{1500 \cdot 0,2}{10} = 30 \text{ Gramm Harnstoff.}$$

Bei grösserem oder geringerem Gehalt des Harns an Harnstoff hat man noch Correcturen an dem direct gefundenen Werth anzubringen. Hat man zur Titrirung mehr als 30 cc Quecksilberlösung verbraucht, so setzt man vor der Prüfung mit kohlensaurem Natron der Mischung die Hälfte der mehr als 30 cc verbrauchten Cubikcentimeter an Wasser zu. Hat man weniger als 30 cc verbraucht, so zieht man für je 5 cc, die man weniger gebraucht hat, 0,1 cc ab und berechnet erst den so erhaltenen Rest der Cubikcentimeter auf Harnstoff.

Das specifische Gewicht des Harnes hängt bei nicht zuckerhaltigen Harnen hauptsächlich von dem Harnstoffgehalt ab. Für die raschere Harnstoffbestimmung ist es von Werth zu wissen, dass man die beiden hinteren Zahlen des gefundenen specifischen Gewichts des Harnes nur zu verdoppeln hat, um annähernd die Zahl der Cubikcentimeter zu erhalten, die man zu 15 cc Harnmischung, nach der oben angegebenen Methode hergestellt, zusetzen muss, bis die Endreaktion eintritt, oft weniger. — Im Hundeharn ist die Menge der Phosphorsäure so gross, dass man die Harnmischung mit gleichen Volumen Harn und Barytmischung herzustellen hat.

Bemerkungen für den Arzt. — Wir haben im Allgemeinen schon über den Werth, welchen quantitative Bestimmungen von Harnbestandtheilen für den Arzt haben können, gesprochen. Alles, was dort im Allgemeinen gesagt wurde, gilt im Besonderen vor Allem für den Harnstoff, das Hauptprodukt des Eiweissumsatzes. Alle anderen stickstoffhaltigen Harnbestandtheile stehen normal zur Menge des Harnstoffs in einer einfachen Beziehung. Wird mehr Harnstoff im Körper erzeugt z. B. durch vermehrte Nahrungszufuhr, so wird auch mit ihm entsprechend mehr Harnsäure, Kreatinin, bei Hunden Kynurensäure etc. im Harne ausgeschieden. Auch die Schwefelsäure und Phosphorsäure stammen im Harne vorzugsweise aus dem Umsatz der Albuminate, wenn sie nicht als Medicament dargereicht wurden; ihre Vermehrung und Verminderung hat also fast genau die gleiche Bedeutung wie die des Harnstoffs und wird meist mit letzterer gleichzeitig eintreten. Die Vermehrung der Ausscheidung der genannten, im Harne enthaltenen Stoffe hängt also stets bei Gesunden wie Kranken vor Allem von gesteigertem Appetit und dadurch vermehrter Nahrungsaufnahme ab. Im Fieber ist jedoch auch ohne Nahrungsaufnahme die Harnstoffausscheidung gesteigert. Dies rührt her von einer gesteigerten Zersetzung der Körperalbuminate wie aller anderen Körperstoffe im Fieber, welche auch durch die bedeutende Wärmeabgabe, Abmagerung und den Kräfteverlust durch fieberhafte Krankheiten bewiesen wird. Hier und da kommen unabhängig von der Nahrung momentane Harnstoffvermehrungen vor, die sich entweder durch plötzliche Ausscheidung im Körper aufgehäuften Harnstoffs oder durch aus inneren Ursachen gesteigerte Eiweisszersetzung erklären, z. B. bei Resorption hydropischer Ergüsse oder bei der Uterusverkleinerung der Wöchnerinnen. Verminderung der Harnstoffausscheidung hängt meist von verminderter Nahrungsaufnahme ab, in seltenen Fällen von einem Zurückhalten gebildeten Harnstoffs im Körper (Urämie).

Bei allen acuten fieberhaften Krankheiten (Pneumonie, Typhus etc.) ist der Gang der Harnstoffausscheidung gewöhnlich folgender (J. Vogel): Im Anfang, bis die Akme des Fiebers vorüber ist, erscheint die Harnstoffmenge, trotz gleichzeitiger knapper Diät und trotz einer gleichzeitigen Verminderung der Urinmenge, in der Regel vermehrt, bisweilen sehr bedeutend, bis auf 50, 60, ja 80 Gramm in 24 Stunden. Später, wenn mit dem Nachlass des Fiebers die Erhöhung des Stoffverbrauches nachgelassen hat, während die fortdauernde Störung des Appetits eine verminderte Nahrungsaufnahme bedingt, sinkt die Harnstoffmenge unter die Norm. In der Reconvalescenz erhebt sie sich allmälig wieder bis zur Norm, um diese bei gesteigertem Appetit häufig zu übertreffen. Natürlich wird dieser regelmässige Gang durch individuelle Verhältnisse vielfach modificirt. Nach Naunyn beginnt die Steigerung des Eiweisszerfalls bei fieberhaften Leiden vor der febrilen Temperaturerhöhung. — Bei Wechselfieber steht die Harnstoffausscheidung in bestimmter Beziehung zur Kör-

pertemperatur, mit der sie sinkt und steigt. Während der Apyrexie sinkt die Harnstoffausscheidung oft unter die Norm. Huppert gibt für alle fieberhaften Temperaturverhältnisse dasselbe Gesetz an. Die Vermehrung ist selbstverständlich relativ, entsprechend dem jeweiligen Stoffwechsel des Patienten, so dass »normale« Harnstoffmengen in Krankheiten unter Umständen schon eine bedeutende fieberhafte Steigerung der Harnstoffbildung bedeuten können. Ueber Steigerung des Stoffwechsels im Fieber cf. bei Athmung S. 538. — Bei den meisten chronischen Krankheiten, die mit der Verminderung des Stoffumsatzes im Körper und mit mangelnder Ernährung verbunden sind, sinkt, wie stets bei mangelhafter Ernährung, die Harnstoffmenge unter die Norm, durch inzwischen eintretende Steigerungen des Leidens Exacerbationen, durch Febris hectica etc. wird sie hier und da für kürzere oder längere Zeit wieder gesteigert. Gegen das todtliche Ende vieler Krankheiten, in denen der Körper wie im äussersten Hungerzustande aufgezehrt wurde, ist die tägliche Harnstoffmenge oft ungemein gering, 5 bis 6 Gramm. Durch Ablagerung wässeriger, hydropischer Ergüsse in die Körperhöhlen kann die Harnstoffausscheidung manchmal plötzlich sinken, da sich in den genannten Flüssigkeiten Harnstoff aufhäufen kann. Werden solche Ergüsse resorbirt nach therapeutischer Einwirkung oder durch im Körper selbständig zur Wirksamkeit gelangte Ursachen, so kann, wie schon oben gesagt, auch aus diesem Grunde die Harnstoffausscheidung und die Harnmenge mit einem Mal sehr gesteigert werden, ohne dass die äusseren Ernährungsverhältnisse einen Wechsel erlitten hätten. Nach starken Blutverlusten Operationen ist die Harnausscheidung und die Harnstoffausscheidung für einige Zeit vermindert, nach etwa 2 Tagen steigen beide auch ohne Fieber. Durch Flüssigkeitseinspritzung in die Gefässe steigt bei Thieren die Harnausscheidung nach Blutverlusten sogleich, ebenso verhält sich die Galleausscheidung, die bei Blutverlusten auch sehr bald cessirt (cf. S. 321, 333). Auch hydropische und exsudative Ergüsse vermindern die ganze Harnausscheidung. Bei Ruhr fand ich äusserst geringe tägliche Harnstoffmengen.

Die Nieren als Entgiftungsorgane des Körpers. — Schon oben wurde ausgeführt, dass die Nieren wie die Lungen den Zweck haben, aus dem Körper »Gifte« zu entfernen, die aus dem Gewebsumsatz entstehen oder, wie z. B. die Kalisalze, in der Nahrung überreichlich eingeführt werden. So lange die Nieren normal functioniren, geschieht die Ausscheidung dieser Gifte so rasch, dass sie wenig Wirkung entfalten können. Bei Störungen in der Nierenfunction kann das aber ganz anders werden. Hier werden sich die Wirkungen giftiger Substanzen, die normal durch den Harn rasch ausgeschieden werden, sehr steigern können. Vor Allem ist hier an die Kalisalze zu denken. Cl. Bernard u. A. haben durch den Versuch bewiesen, dass Stoffe, die, ins Blut gebracht, giftig, vom Magen aus aber nicht giftig wirken (z. B. Curare), sogleich ihre Wirkung auch von dort aus entfalten, wenn die Nierengefässe unterbunden wurden.

Urämie, Harnvergiftung des Blutes entsteht dann, wenn durch gehemmte Nierenausscheidung die in den Körperorganen gebildeten Harnbestandtheile im Blute zurückgehalten und angehäuft werden (z. B. in Folge von Nierenleiden, bei Cholera etc.). Dieser Zustand hat seit älteren Zeiten das Interesse der Aerzte auf sich gelenkt. Man hatte früher die komatösen Erscheinungen, die Zuckungen und Krämpfe, welche auf Unterdrückung der Nierenfunction eintreten, allein dem gesteigerten Gehalt des Blutes an Harnstoff zugeschrieben. Die Untersuchungen Zalesky's haben ergeben, dass urämische Erscheinungen (Koma) auch bei Vögeln und Schlangen eintreten, denen er die Nieren ausgeschnitten oder die Ureteren unterbunden hatte, welche Thiere normal keinen Harnstoff bilden und entleeren. Ihr Harn besteht hauptsächlich aus Harnsäure. Es ist damit der Beweis geliefert, dass der Harnstoff bei den urämischen Erscheinungen nicht allein beschuldigt werden darf. Es kommen neben ihm auch andere Stoffe und Agentien zur Wirkung, welche Veränderungen der normalen Zustände des Gehirnes und der Nieren hervorbringen. Traube zeigte, dass schon ein gesteigerter Wassergehalt des Gehirnes (Oedem), wie er in Folge der verminderten Nierenausscheidung eintritt, komatöse Zustände, die der Urämie ähneln, erzeugen könne. Meissner beobachtete bei Controle meiner Versuche, dass nach Einspritzung von Kreatinin ins Blut von Hunden

bei diesen Mattigkeit und Zuckungen eintreten. Nach den Untersuchungen von Cl. Bernard, Traube und mir über die Wirkung der Kalisalze stehe ich nicht an, auszusprechen, dass ein Theil des Symptomencomplexes der Urämie sich auf die Aufhäufung von Kalisalzen im Blute, die durch den Harn nicht entfernt werden können, beziehen. Wir haben also hier ein combinirtes Resultat vor uns, an dessen Hervorbringung sich verschiedene Einflüsse, die einander theilweise ersetzen können, betheiligen. Dem Harnstoff muss aber unstreitig auch eine wichtige Rolle bei der Erzeugung der Urämie zugeschrieben werden. Ich habe gefunden, dass der Harnstoff für den animalen Organismus (Frosch) ein Gift ist. Meissner fand, dass Harnstoff, in Dosen von 1—2 Gramm Kaninchen in das Blut eingespritzt, komatöse Erscheinungen hervorrief. Aus meinen Untersuchungen ergibt sich, dass der Harnstoff für alle Organe und Gewebe des Körpers unschädlich ist, mit einziger Ausnahme einer ganz eng umgrenzten Partie im Gehirne, deren normale Thätigkeit er durch seine Anwesenheit, ebenso wie wir das bei den »ermüdenden Stoffen« in Beziehung auf den Muskel finden werden, hindert. Die durch die Harnstoffeinspritzung betroffene Hirnpartie liegt zwischen der Mitte des Grosshirnes und der Mitte der Vierhügel (Frosch), wohin Setschenow das von ihm aufgefundene Reflexhemmungscentrum verlegt. Die Wirkung der Harnstoffinjection scheint mir primär eine Reizung des Reflexhemmungscentrums zu sein, aus der sich allmälig eine Lahmung des gesammten peripherischen Reflexapparates entwickeln kann. Alle Reflexe werden daher nach der Harnstoffinjection zuerst träger, dann hören sie ganz auf, während Rückenmark, peripherische Nerven und Muskeln sonst keine Veränderung ihrer Lebenseigenschaften erkennen lassen. Da neben den Reflexen auch die Spontanbewegungen nach Harnstoffinjection aufgehoben sind, so scheint der Harnstoff auch auf das nervöse Organ des Willens (in den Gehirnhemisphären?) lähmend zu wirken. Ganz analog wie Harnstoff wirkt auch nach meinen Beobachtungen Hippursäure; Meissner konnte keine Wirkung von Kreatin und Bernsteinsäure sehen; Harnsäure und harnsaures Natron fand ich ganz unwirksam. Für den Arzt geht aus diesen physiologischen Mittheilungen hervor, dass gegen Urämie nur Anregung der Nierenthätigkeit helfen kann. Blutentziehung kann, da sie dem Körper mit dem Blute auch die Urämie erzeugenden Stoffe entzieht und eine Aufnahme derselben aus den Geweben in das Blut hervorbringt, wodurch die Gewebe mehr oder weniger von ihnen befreit werden, eine momentane Besserung der Erscheinungen bewirken.

Zur qualitativen Reaction auf **Kreatinin** (resp. Kreatin) empfiehlt Th. Weil die Kreatininlösung kalt mit einigen Tropfen einer sehr verdünnten Lösung von Nitroprässidnatrium und dann mit verdünnter Natronlauge zu versetzen, es tritt dann eine schön rubinrothe Färbung auf. In 5 cc Harn kann man auf diese Weise das Kreatinin nachweisen, Erwärmen und Alkoholzusatz beeinträchtigen die Reaktion; Flüssigkeiten, welche kein Kreatinin sondern Kreatin enthalten, z. B. Harn nach längerem Stehen, geben die Reaktion nicht, sie tritt aber ein, nachdem man durch Erwärmen mit verdünnter Schwefelsäure das Kreatin in Kreatinin verwandelt hat.

Zur quantitativen Bestimmung der Harnsäure verwendet man 100—200 cc Harn. Diese versetzt man mit 5 cc concentrirter Salzsäure und lässt sie 48 Stunden stehen. Nach dieser Zeit hat sich an dem Boden und den Wänden des zur Ausscheidung benutzten Becherglases die Harnsäure in mehr oder weniger grossen, gefärbten Krystallen angesetzt. Man hat sie vollkommen unter Zuhülfenahme einer kleinen abgestutzten Federfahne auf einem bei 100° C. im Uhrglasapparat getrockneten aschefreien Filter zu sammeln. Nun wird so lange mit Wasser ausgewaschen, bis das Waschwasser durch salpetersaures Silberoxyd nicht mehr käsig gefällt wird, also keine Salzsäure (Chlor) mehr enthält. Dann wird das Filter mit den Krystallen von Neuem bei 100° C. im Wasserbade getrocknet und gewogen, vom Gewicht ist das Filtergewicht abzuziehen. Aus der in 100 oder 200 cc Harn gefundenen Harnsäurequantität rechnet man auf die während eines Tages ausgeschiedene Gesammtmenge. In 100 cc hätten wir z. B. 0,04 Gramm trockene Harnsäure gefunden. Wenn in 24 Stunden 1500 cc

Harn entleert werden, so beträgt die Gesammt-Harnsäurequantität während dieser Zeit:

$$\frac{1500 \cdot 0,04}{100} = 0,6 \text{ Gramm.}$$

Die Harnsäure ist in Wasser etwas löslich. Nach ZABELIN und VOIT wird der dadurch bedingte Fehler corrigirt, wenn man das Filtrat mit dem Waschwasser misst und auf je 100 cc der gesammten Waschflüssigkeit 0,0045, nach SCHWANERT 0,0048 Gramm zu der gewogenen Harnsäurequantität addirt. SALKOWSKI und MALY übersättigen das Filtrat mit einer ammoniakalischen Magnesiamixtur, filtriren ab und fällen die noch restirende Harnsäure aus dem Filtrate mit einer ammoniakalischen Silberlösung, als Doppelsalz von harnsaurem Silber und harnsaurem Alkali oder Erdkali. — **Bemerkungen für den Arzt.** — In der Leukämie mit Milzvergrösserung findet sich die tägliche Harnsäuremenge sowohl absolut als relativ zum Harnstoff bedeutend vermehrt (H. RANKE). Im Fieber, wenn die Harnstoffausscheidung gesteigert ist, zeigt sich meist auch eine correspondirende Harnsäurevermehrung. In der chronischen Gicht ist die Harnsäuremenge im Harne vermindert. Im Diabetes mellitus soll zuweilen die Harnsäure im Harne ganz fehlen, zuweilen ist sie in normaler Menge vorhanden. Grosse Gaben schwefelsauen Chinins vermindern bei Gesunden die Harnsäure im Harne (H. RANKE). Bei der Besprechung der Stoffvorgänge in der Milz wurde schon erwähnt, dass H. RANKE in diesem Organe die Hauptstätte der Harnsäurebildung vermuthet. — Der qualitative Nachweis der Harnsäure wird bei Besprechung der Sedimente gegeben werden.

Cystin im Harne: **Cystinurie.** — Das Cystin findet sich gelöst im Harn und als Sediment. LÖBISCH beobachtete einen solchen Fall, der lediglich mit »Verdauungsbeschwerden« begleitet war. Die Cystinmenge des Harns betrug im Mittel in 24 Stunden 0,393 Gramm. 500 cc Harn wurden mit 20 cc Essigsäure versetzt, das Sediment: Cystin, Harnsäure, oxalsaurer Kalk und mitunter harnsaures Natron (? nach 24 Stunden abfiltrirt, gewaschen und gewogen. Alsdann wurde es nochmals angefeuchtet, mit etwas verdünnter Salzsäure das Cystin gelöst, der Rückstand wieder getrocknet und gewogen, die Differenz zwischen beiden Wägungen als Cystin in Rechnung gebracht. Die Formen der Cystinkrystalle cf. Fig. 139.

Die Phenolausscheidung im Harn sinkt bei manchen Krankheiten unter und steigt bei anderen über die Norm, letzteres bei acuter Peritonitis, traumatischem Tetanus und septischen Zuständen (stinkendem Empyem, Puerperalfieber), nach Einnehmen grösserer Mengen von Tyrosin (SALKOWSKI, L. BRIEGER). Bei Hühnern tritt nach CHRISTIANI nach Fleischfütterung Phenol im Harn auf. Phenol hat giftige Wirkungen, es erregt zuerst Reflexkrämpfe.

Der Nachweis des Chlors im Harne geschieht qualitativ durch Zusatz von salpetersaurem Silberoxyd in Lösung, wodurch ein weisser, käsiger Niederschlag entsteht, der sich beim Stehen am Lichte schwärzt: Chlorsilber, leicht löslich in Ammoniak.

LIEBIG lehrte eine einfache Titrirmethode zur quantitativen Bestimmung des Chlor-, respective Kochsalzgehaltes im Harne. Zu dieser Bestimmung bereitet man sich eine Lösung von reinem, geschmolzenem, salpetersaurem Silberoxyd, von dem man 29,063 Gramm abwiegt, in Wasser löst und die Lösung bis zu einem Liter verdünnt. Die Lösung wird gut gemischt, vor Licht geschützt in schwarzen Flaschen gut verschlossen aufbewahrt. 1 cc dieser Silberlösung entspricht 10 Milligramm Chlornatrium oder 6,07 Milligramm Chlor. Um die Kochsalzbestimmung im (eiweissfreien) Harne vorzunehmen, bringt man von ihm 10 cc in ein Becherglas, setzt einige Tropfen einer concentrirten Lösung von neutralem chromsaurem Kali hinzu und lässt nun aus der Burette von der Silberlösung so lange zufliessen, bis der beim Einfallen der Tropfen entstehende Niederschlag auch nach gutem Mischen der Flüssigkeit roth bleibt. Die erste bleibende Röthung zeigt an, dass nun alles Chlor ausgefällt und eine Spur Silber an Chromsäure gebunden ist. Nach Ablesung der bis zum Rothwerden verbrauchten Silberlösung ist die Berechnung der Analyse genau nach den oben für die Titrirungen angegebenen Regeln vorzunehmen. Nach HOPPE-SEYLER hat man von den verbrauchten Cubikcentimetern der Silberlösung für 10 cc Harn 1 cc abzuziehen, da die Resultate der Titrirung etwa um so viel zu gross ausfallen. — Bei exsudativen Entzündungsprocessen, bei denen viel Kochsalz in den Exsudaten abgelagert wird, sowie bei Ausscheidung von Kochsalz

durch den Darm oder durch starkes Schwitzen liegt die Kochsalzausscheidung im Harn darnieder, mit der Resorption der Exsudate steigt sie wie mit dem Aufhören der krankhaften Darmausscheidung.

Die Bestimmung der Phosphorsäure im Harne. — Essigsaures Uranoxyd gibt mit phosphorsauren Verbindungen in essigsaurer Lösung einen hellgrauen, flockigen Niederschlag. In sauren Uranoxydlösungen gibt Ferrocyankalium einen dunkelbraunen Niederschlag. Durch einen Zusatz von Ferrocyankalium kann also in einer essigsauren Flüssigkeit, in welcher man die Phosphorsäure mit essigsaurem Uranoxyde gefällt hat, ein Ueberschuss von Uranoxyd nachgewiesen werden. Darauf gründet sich das Titrirverfahren bei Bestimmung der Phosphorsäure in Lösungen und im Harne. Man bedarf dazu 1) Ferrocyankaliumlösung von unbestimmter Concentration. 2) Eine Normallösung von phosphorsaurem Natron von bekanntem Phosphorsäuregehalt. Das käufliche phosphorsaure Natron wird aus heissem Wasser umkrystallisirt, gut abgetrocknet, zerrieben und zwischen Filtrirpapier nochmals abgepresst. Davon wiegt man 10,085 Gramm ab, löst sie in Wasser und verdünnt die Lösung, bis sie gerade 1 Liter beträgt. 100 cc der Lösung enthalten 0,2 Gramm Phosphorsäure. 3) Eine Lösung von Essigsäure und essigsaurem Natron. Man löst dazu 100 Gramm krystallisirtes, essigsaures Natron in Wasser, fügt 100 cc starke Essigsäure hinzu und verdünnt mit Wasser bis zu 1 Liter. 4) Titrirte Lösung von essigsaurem Uranoxyd. Um sie herzustellen, löst man käufliches Uranoxyd in reiner Essigsäure und verdünnt etwas mit Wasser. Diese Lösung titrirt man auf die Normalphosphorsäurelösung und verdünnt sie dann so, dass 1 cc der Lösung gerade 0,005 Gramm Phosphorsäure entspricht. — Zur Ausführung der Phosphorsäurebestimmung im Harne bringt man 50 cc des Harnes in ein Becherglas, fügt 5 cc der Essigsäuremischung zu, erhitzt auf dem Wasserbade und lässt nun von 1 cc zu 1 cc von der titrirten Uranlösung so lange zufliessen, bis ein Tropfen der Flüssigkeit, den man auf eine weisse Porzellanplatte mit dem Glasstabe gebracht hat, mit einem Tropfen Ferrocyankalium, den man von der Seite her in den ersten Tropfen einfliessen lässt, eine erkennbare bräunliche Färbung gibt. Rechnung wie oben. — Nach heftigen Muskelkrämpfen (Chorea major) fand ich die Phosphorsäureausscheidung bedeutend vermehrt.

Die Bestimmung der Schwefelsäure im Harne. — Man titrirt mit einer Lösung von Chlorbaryum und sucht den Punkt, wo in einem klaren Tropfen der Lösung ein zugesetzter Tropfen einer schwefelsauren Natronlösung eben eine weisse Trübung hervorbringt, zum Zeichen, dass man einen Ueberschuss von Chlorbaryum zugesetzt hat. Man bedarf dazu nur einer Chlorbaryumlösung von solcher Concentration, dass 1 cc 10 Milligramm Schwefelsäure fällt. Man bereitet sie durch Auflösen von 30,5 Gramm krystallisirtes, gepulvertes, lufttrockenes Chlorbaryum und Verdünnen der Lösung bis zu 1 Liter. Misst man von dieser Lösung 100 cc ab und verdünnt sie auf ein Liter, so entspricht von dieser verdünnten Lösung, welche für feinere Bestimmungen sich empfiehlt, 1 cc nur 0,001 Gramm Schwefelsäure. — Zur Bestimmung der Schwefelsäure werden 50 cc Harn in einem Glaskölbchen mit etwas Salzsäure versetzt und auf freiem Feuer aufgekocht. Zur siedenden Flüssigkeit setzt man Cubikcentimeterweise die Barytlösung aus einer Burette zu, schüttelt gut und lässt den entstandenen Niederschlag sich absetzen, was sehr rasch eintritt. Nun nimmt man nach Voit mit einem breiten Glasstabe von der obenstehenden, klaren Flüssigkeit einen Tropfen heraus, bringt ihn in ein Uhrglas und setzt einen Tropfen Chlorbaryumlösung zu. Entsteht dadurch eine Fällung von Schwefelsäure (weisse Trübung), so hat man noch mehr Chlorbaryum aus der Burette zufliessen zu lassen. Zu diesem Zwecke kocht man im Kölbchen den Harn von Neuem und tropft dann die Barytlösung ein, schüttelt wieder um und lässt absetzen. So fährt man fort, bis Chlorbaryum keinen Niederschlag mehr bewirkt und nun ein solcher mit schwefelsaurem Natron eintritt. Hat man den Harn mit Salpeter und Natron verbrannt und bestimmt nun die Schwefelsäure, so ergibt die Bestimmung einen nicht unbeträchtlich höheren Schwefelsäuregehalt als im frischen Harne. Es enthält der Harn normal einen schwefelhaltigen Körper, der beim Verbrennen Schwefelsäure liefert

(s. unten). Nach SALKOWSKI wäre dieser Körper Taurin nach KUTZ dagegen zum Theil Rhodankalium. Es soll auch unterschwefelige Säure im Harn mancher Hunde vorkommen. (SCHMIEDEBERG); über gepaarte Schwefelsäuren im Harn cf. oben S. 581.

Schwefelwasserstoff im Harn ist mit Papier, das man mit essigsaurem Blei und etwas Ammoniak befeuchtet hat, durch die eintretende Schwärzung des Papiers nachzuweisen. Ein mit einer Lösung von Nitroprussidnatrium und einem Tropfen verdünnter Natronlauge befeuchteter Papierstreifen färbt sich durch Schwefelwasserstoff purpurroth. Zum Nachweis bringt man Harn in eine Glasflasche, hängt das Reagenspapier in dieselbe ein und befestigt es mit dem Kork der Flasche. Der Geruch des schwefelwasserstoffhaltigen Harnes ist von dem des reinen Schwefelwasserstoffs verschieden. — Man konnte bisher sein Auftreten im Harne bei manchen Krankheitszuständen nicht erklären. In allen von mir beobachteten Fällen enthielt solcher Harn Eiter. SCHÖNBEIN fand, dass jeder Harn, den man mit amalgamirten Zinkspänen und Salzsäure versetzt, Schwefelwasserstoff entwickelt. Neuerdings wird angegeben, dass dazu ein Säurezusatz allein genügt. Mit Zinkspänen entwickelt nach meinen Versuchen jeder Harn mit jeder Säure Schwefelwasserstoff. In sehr saurem Leichenharn nach Typhus sah ich freien Schwefelwasserstoff in bedeutender Menge. Bei einem Patienten, dessen Harn einige Tage mit dem Katheter abgenommen war, fand ich Schwefelwasserstoff in dem frisch entleerten, sauer reagirenden Harn, so dass unzweifelhaft der Schwefelwasserstoff schon in der Blase gebildet war. Im Athem konnte ich ihn jedoch nicht nachweisen. Dieser Harn hatte in hohem Grade die Fähigkeit, aus anderen Harnen, denen er in wenig Tropfen zugesetzt war, Schwefelwasserstoff zu entwickeln. Es zeigte sich, dass diese Fähigkeit sich an organisirte Beimischungen, Fermente, knüpfte, die in dem schwefelwasserstoffhaltigen Harne enthalten waren. Die in ihm entstehenden Schimmel- und Gährungspilze erregten, in normalen Harn gebracht, nach einigen Tagen Schwefelwasserstoffentwickelung. Der so geimpfte Harn konnte seinen eigenthümlichen Zersetzungsvorgang durch die in ihm entstandenen Organismen wieder auf einen dritten überpflanzen. Es unterliegt also keinem Zweifel, dass wir es bei der Schwefelwasserstoffentwickelung im Harne mit einer Gährungserscheinung zu thun haben, die ich als Schwefelwasserstoffgährung bezeichne. Von selbst habe ich sie in normalen Harnen niemals auftreten sehen, wenn ich von einem zweifelhaften Falle absehe. Die Schwefelwasserstoffgährung geht nur in sauren und neutralen Harnen vor sich, sie sistirt in stark alkalischen, aus denen man auch mit Zinkspänen keinen Schwefelwasserstoff entwickeln kann. Die Quelle, welche den Schwefel für den Schwefelwasserstoff in der Schwefelwasserstoffgährung liefert, ist der oben bei der Schwefelsäurebestimmung genannte schwefelhaltige Harnbestandtheil, der durch die Schwefelwasserstoffentwickelung vermindert wird und schliesslich verschwindet, wie mir directe Bestimmungen ergeben haben. Das Ferment, welches die Schwefelwasserstoffgährung im Harne erzeugt, konnte ich bisher nicht näher bestimmen. Ein Zusatz von einer Anzahl fauliger Stoffe zu normalem Harn ergab mir negative Resultate.

Die Harnsedimente. Ihre Entstehung und Untersuchung.

In manchen Fällen wird der Harn schon trüb aus der Blase entleert. Bei längerem Stehen setzt sich dann häufig ein Bodensatz ab, während die überstehende Flüssigkeit klar wird. Viel häufiger ist es, das sauer reagirender Harn vollkommen klar ausgeschieden wird und erst beim Erkalten sich trübt und ein mehr oder weniger rothes Sediment, »Ziegelmehl«: Harnsäure und harnsaures Natron mit harnsaurem Kalk fallen lässt. Nach längerem Stehen sedimentirt jeder normale Harn, da er dann alkalisch wird. Man glaubte früher, dass das Auftreten eines Niederschlags in klar entleertem saurem Harne auf einer eigenthümlichen Gährungserscheinung beruhe, die man saure Gährung nannte. Der sauer entleerte Harn soll nach einiger Zeit anfangen, mehr Säure (Milchsäure) zu bilden, so dass seine saure Reaction an Stärke zunimmt. Diese neugebildete Säure sollte nun ebenso wirken

wie ein Säurezusatz zum Harne, durch welchen wir eine Ausfallung der Harnsäure eintreten sehen. In der Mehrzahl der Fälle tritt das Sedimentiren aber sicher aus einem viel näher liegenden Grunde ein. Im Harne sind alle Salze als saure Verbindungen vorhanden. Die saure Harnreaktion rührt vor Allem von saurem phosphorsaurem Natron oder Kali her. Die Harnsäure ist im Harne, meist an Natron gebunden, als saures harnsaures Natron gelöst. Die Löslichkeit dieses Salzes ist nicht sehr gross und sehr von der Temperatur des Lösungsmittels abhängig. Jeder Krankenwärter weiss, dass in einer kalten Nacht, wenn es auch in den Krankensälen kalt geworden ist, fast alle Harne sedimentiren. Der Grund, warum ein Niederschlag harnsaures Natron eintritt, liegt also oft einzig in der Abkühlung des Harnes. Wenn der Harn, wie es besonders bei sparsamer Harnmenge in fieberhaften Krankheiten etc. vorkommt, für die Temperatur des Körpers nahezu mit harnsaurem Natron gesättigt ist, so wird er sedimentiren, sobald er, aus der Blase entleert, anfängt abzukühlen. Bei weniger concentrirten Harnen fällt bei der Normal-Zimmertemperatur noch nichts heraus, hier bedarf es dazu einer stärkeren Temperaturerniedrigung. Dass es sich bei den meisten Sedimentirungen im sauren Harn um dieses Verhältniss handelt, geht daraus hervor, dass die Sedimente verschwinden, wenn man den Harn auf die Bluttemperatur erwärmt. Das saure phosphorsaure Natron wirkt auf das harnsaure Natron schliesslich auch zersetzend ein (Hofmann), so dass wie durch eine freie Säure reine Harnsäure aus jedem Harn abgeschieden werden kann. Die ältere Medicin pflegte sedimentirende Harne »kritische Harne« zu nennen. Man dachte sich die krankmachende Ursache direct als einen Stoff, den der Organismus auszustossen hätte, um wieder zur Norm zurückzukehren. Man nahm dazu »kritische Entleerungen« durch die Respirationsorgane, den Darm, den Schweiss und namentlich den Harn an. Im letzteren schien am leichtesten die Materia peccans anschaulich zu werden; man nahm die Trübung des sonst klaren Harnes direct für eine solche. — Das Auftreten einer stärkeren Sedimentirung im sauren Harne bedeutet nur, dass der Harn entweder durch bedeutende Stoffzersetzungen oder durch Wassermangel concentrirter als gewöhnlich ist. Der letztere Grund ist bei weitem der häufigere. Man würde sehr irren, wenn man annehmen würde, dass das ziegelrothe Sediment im Harn bedeute, es habe eine Mehrausscheidung von Harnsäure stattgefunden. In den allermeisten Fällen findet sich in (von harnsaurem Natron) sedimentirenden Harnen die Harnsäure absolut nicht vermehrt, wenn wir nicht procentisch, sondern auf eine bestimmte Zeit der Ausscheidung rechnen. Im Fieber erscheint die Wasserabgabe durch die Perspiration meist gesteigert, daher finden wir hier, gerade so wie nach starken Märschen, bei denen man geschwitzt hatte, oder noch mehr nach Schwitzbädern, den dann sparsamen Harn fast regelmässig sedimentirend. Schon Hippokrates kannte diese Wirkung des Schwitzens.

Wenn der Harn längere Zeit steht, so bilden sich in ihm Zersetzungsvorgänge aus, beruhend auf der Anwesenheit organisirter Fermente, Kernhefe, Fadenpilze, Spaltpilze, Konferven, Algen, Infusorien etc., Gährungserscheinungen, welche zu einer Umsetzung des Harnstoffs in kohlensaures Ammoniak führen. Dadurch nimmt die saure Reaktion des Harnes ab, er wird neutral und hierauf von Tag zu Tag stärker alkalisch. Der Harn braust dann mit Säure (Kohlensäureentwickelung) und wird trüb. Es setzt sich ein weisses Sediment ab, bestehend aus den durch das Ammoniak ausgefällten Erdphosphaten: phosphorsaurem Kalk, phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia neben harnsaurem Ammoniak. Diese alkalische Gährung tritt bei verschiedenen Harnen zu sehr verschiedenen Zeiten ein. Während sich saurer Harn, an kühlem Orte bedeckt (am besten unter einer Oelschicht) aufbewahrt, sehr lang unzersetzt hält, wird mancher Harn, namentlich bei krankhaften Zuständen der Blasenschleimhaut, wenn Blasenschleim oder Eiter etc. dem Harne beigemischt ist, entweder aus der Blase alkalisch entleert, oder wenn er bei seinem Austritt auch sauer reagirte, so nimmt er doch sehr rasch die alkalische Reaktion an. Es leuchtet ein, dass, abgesehen von anderen Gründen, die beiden Ursachen der Sedimentirung: sehr stark saure Reaktion eines concentrirten Harnes, wodurch Harnsäure ausgeschieden werden kann, oder alkalische Reaktion des Harns in der Blase zur Bildung von Niederschlagen in der Blase

zur Bildung von Niederschlägen in der Blase selbst und damit zur Entstehung des schmerzhaften und gefährlichen Leidens der sogenannten Harnblasensteine Veranlassung geben konnen. Sitzt der krankhafte Process in den Nierenbecken oder Ureteren, so konnen sich dort Concretionen verschiedener Art: Nierensteine ansetzen, welche bei ihrer Ablösung und Ausstossung, während sie den Ureter passiren, die bekannten, qualvollen Schmerzen in der Nierengegend gegen die Blase zu erzeugen.

Die mikroskopische Analyse der Harnsedimente gibt für den Arzt meist genugenden Aufschluss über das Wesen derselben. Das Mikroskop zeigt hier und da im Harn auch Formelemente, welche das freie Auge nicht als Sediment erkannt hat. Es sind das, abgesehen von Blutkörperchen, vor Allem Epithelzellen aus der Blase und den übrigen Harnwegen, welche als zufällige Bestandtheile in jedem Harne entstanden sind. Ebenso etwas Schleim mit Schleimkörperchen. Bei krankhaften Zuständen der Nieren (Harncanälchen) zeigt sich im Harne auch das Epithel der Harncanälchen. Diese Zellen lassen sich durch ihre bekannte Gestalt (cf. S. 567) erkennen. Manchmal findet man sie mehr vereinzelt oder zu mehreren zusammenhängend, manchmal bekommt man ein cylindrisches Stück eines zusammenhängenden Epithelbeleges eines Canälchens zu sehen: Epithelcylinder, dann meist mit undeutlichen Zellengrenzen, aber deutlichen Kernen. Meist sind die Zellen in verschiedenen Stadien des Zerfalles. Ausser diesen cylindrischen Gebilden kommen noch andere mehr oder weniger durchsichtige Cylinder vor, welche, in eine hyaline Substanz eingebettet, oft noch erkennbare Epithelzellen führen, oft nur noch molekulär zerfallene Masse erkennen lassen: es sind die sogenannten Fibrincylinder, welche einen Fibrinabguss der Harncanälchen darstellen. Sind sie fast ganz ohne Körncheneinlagerung, durchscheinend, so werden sie als hyaline Cylinder bezeichnet. Sie gehören fortgeschritteneren Nierenleiden an.

Die **Sedimente** können bestehen aus:

I. unorganisirten Stoffen; in saurem Harn: harnsaures Natron, phosphorsaurer Kalk, Fett, oxalsaurer Kalk, Harnsäure, Cystin; im alkalischen Harn: phosphorsaure Ammoniakmagnesia, harnsaures Natron.

II. organisirten Körpern: Schleimgerinnsel und Schleimkörperchen, Eiterkörperchen, den oben beschriebenen Harncylindern, Spermatozoiden, Gährungs- und Fadenpilzen, Epithelzellen der Nierencanälchen und Harnwege.

Schema zur Mikroskopie der Sedimente (nach Neubauer).

Vor der Untersuchung des sedimentirenden Harnes ist es nothwendig zu wissen, ob der Harn frisch gelassen ist oder ob er vielleicht schon durch die Harngährung eine Veränderung erfahren hat. Dann prüft man die Reaktion auf Pflanzenpapier, lässt, wenn nöthig, in einem verschlossenen Glase das Sediment sich absetzen, giesst die überstehende Flüssigkeit ab und bringt einen Tropfen, der reich an Sediment ist, auf ein Objectglas.

A. Der Harn reagirt sauer.

I. Das ganze Sediment ist amorph, es zeigen sich keine Krystalle.

a) Das Sediment löst sich bei dem Erwärmen einer Portion des sedimentirenden Harnes in einem Proberöhrchen oder auf dem Objectglase vollkommen auf. Es deutet dieses auf harnsaure Salze. Man setzt zu einem Tropfen des Sedimentes auf dem Objectglase einen Tropfen Salzsäure und lässt $1/4$ — $1/2$ Stunde stehen. Bei Gegenwart von Harnsäure sind nach dieser Zeit rhombische Tafeln von Harnsäure gebildet (Fig. 138). In den meisten Fällen ist ein derartiges Sediment mit mehr oder weniger Harnfarbstoff roth gefärbtes harnsaures Natron (Ziegelmehl) (Fig. 137).

b) Das Sediment löst sich beim Erwärmen nicht auf, wohl aber in Essigsäure ohne Brausen, es ist wahrscheinlich phosphorsaurer Kalk. Der Beweis kann nur chemisch (siehe Harnsteine) geliefert werden.

c) Finden sich unter dem amorphen Sedimente oder auf der Oberfläche des Harns stark

lichtbrechende, silberglänzende Tropfchen, die in Aether loslich sind, so deuten diese auf Fett (sehr selten).

Fig. 137.

Krystalle und amorpher Niederschlag des harnsauren Natron.

Fig. 138.

Harnsäure in ihren verschiedenartigen Krystallformen. Bei *a a a* Krystalle, wie sie bei Zersetzung harnsaurer Salze erhalten werden; bei *b* Krystallisationen der Harnsäure aus dem menschlichen Harne; bei *c* sogenannte Dumb-bells.

II. Das Sediment enthält ausgebildete Krystalle.

a) Kleine glänzende, vollkommen durchsichtige, das Licht stark brechende Quadratoktaeder, mit Briefcouvertform, welche in Essigsäure unloslich sind: oxalsaurer Kalk (Fig. 139 und 137).

b) Vierseitige Tafeln oder sechsseitige Platten von rhombischem Habitus, aus denen oft durch Abrundung der stumpfen Winkel spindel- und fassförmige Krystalle entstehen: Harnsäure (Fig. 138 *b*). Meistens sind diese Sedimente mehr oder weniger gelbbraun gefärbt. Zur Bestätigung löst man das Sediment in einem Tropfen Natronlauge auf dem Objectglase, setzt einen Tropfen Salzsäure hinzu und beobachtet die I. *a*) beschriebenen Krystallformen.

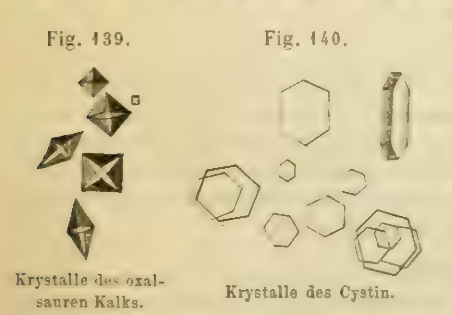


Fig. 139. Krystalle des oxalsauren Kalks.

Fig. 140. Krystalle des Cystin.

c) Reguläre sechsseitige Tafeln, die sich in Salzsäure und Ammon auflösen, beim Erhitzen verkohlen und verbrennen (und die, mit einer Lösung von Bleioxyd in Natronlauge gekocht, eine Ausscheidung von Schwefelblei erzeugen), bestehen aus Cystin (äusserst selten) (Fig. 140).

III. Das Sediment enthält organisirte Körper (Fig. 141).

a) Gewundene Streifchen, welche aus reihenförmig geordneten, sehr feinen Punktchen und Kornchen (amorpher Masse) bestehen, sind Schleimgerinnsel, oft begleitet von harnsaurem Natron, das fast ebenso aussieht.

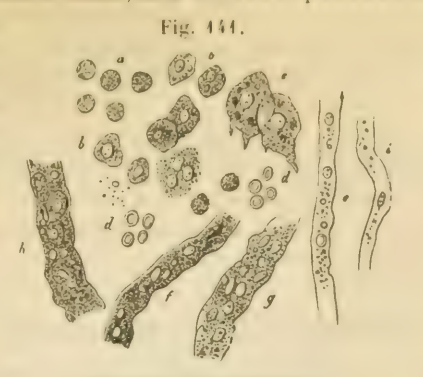
b) Kleine, manchmal contrahirte, runde, granulirte Zellen, meist an einander gelagert in den unter *a*) beschriebenen Schleimmassen, sind Schleimkörperchen.

c) Kreisrunde, schwach biconcave, das Licht stark brechende Scheibchen, meistens gelblich oder mit einem rothen Punkt in der Mitte, sind Blutkorperchen. Es finden sich auch kugelig aufgequollene (in sehr verdünntem Harne) sowie geschrumpfte, eckig zackige Formen (im concentrirtem Harne). Essigsaure macht sie stark aufquellen und lost sie nach einiger Zeit.

d) Kugelige, blasse, matt granulirte kleine Zellen von etwas verschiedener Grösse, die durch Essigsäure bedeutend aufquellen, ihr granulirtes Ansehen verlieren und Kerne von verschiedener Form und Gruppirung erkennen lassen, sind Eiterkörperchen oder Schleimkörperchen.

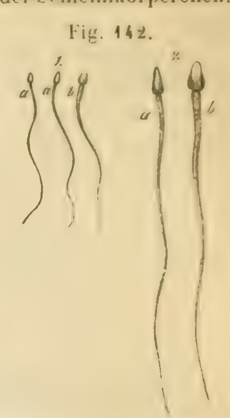
e) Cylindrische Stücke meist etwas gebogen, entweder fast ganz durchsichtig, oder mit Körnchen mehr oder weniger durchsetzt, auch mit Epithelzellen der Harncanälchen, sind die Harncylinder: hyaline Cylinder *e*. *i*. oder Epithelcylinder *f*. *g*. *h*. (Fig. 141).

Fig. 141.



Organisirte Harnbestandtheile.
a Schleim- und Eiterzellen. *b* Drüsenzellen der Harncanälchen, theils mit Fett erfüllt, theils im Zerfall begriffen. *c* Pflasterepithelien der Blase. *d* Blutzellen. *e*, *f*, *g*, *h*, *i* verschiedene Erscheinungsformen der Fibrincylinder.

Fig. 142.



Samenfäden des Menschen. 1. 350mal vergr. 2. 800mal vergr. *a* Von der Seite. *b* Von der Fläche.

f) Spermatozoiden erkennt man an der charakteristischen Gestalt (Fig. 142).

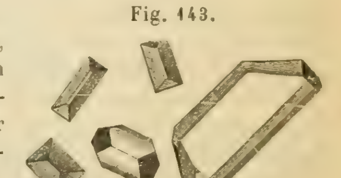
g) Gährungs-, Faden- u. Spaltpilze besonders in diabetischem, gährendem Harne (Fg. 145).

B. Der Harn ist alkalisch.

I. Das Sediment enthält Krystalle.

a) Combinationen des rhombischen vertikalen Prismas, die mit Sargdeckeln Aehnlichkeit haben, dabei löslich in Essigsäure sind und beim Erwärmen mit Natronlauge Ammoniak entwickeln (ein befeuchtetes gelbes Kurkumapapier bräunt sich, über die Dämpfe gehalten), sind phosphorsaure Ammoniak-Magnesia (Fig. 143).

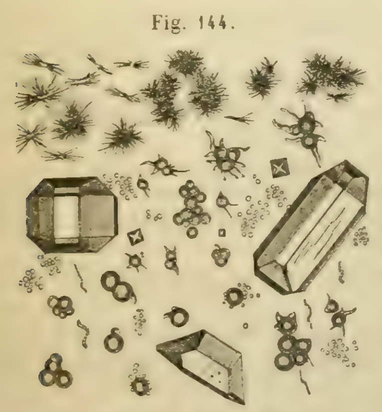
Fig. 143.



Krystalle der phosphorsauren Ammoniak-Magnesia.

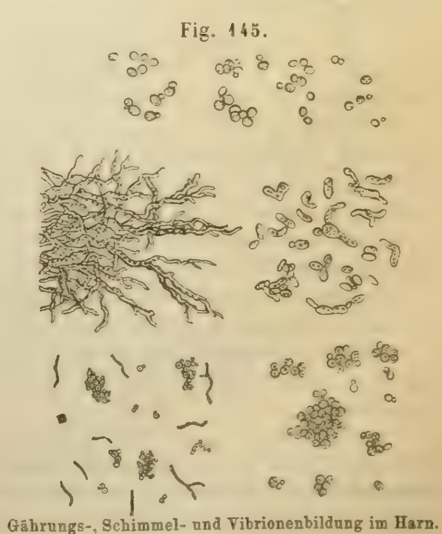
Sollte mit diesen oxalsaurer Kalk (Fig. 139) vorkommen, so behandelt man das Sediment auf dem Objectgläschen

Fig. 144.



Ausscheidungsformen des harnsauren Ammoniaks aus alkalischem Harn neben Krystallen des oxalsauren Kalks und der phosphorsauren Ammoniak-Magnesia.

Fig. 145.



Gährungs-, Schimmel- und Vibrionenbildung im Harn.

mit einem Tropfen Essigsäure; die Krystalle der phosphorsauren Ammoniak-Magnesia werden sich lösen, während die Briefcouvertformen des oxalsauren Kalks ungelöst zurückbleiben.

b) Sedimente von Tyrosin bei acuter Leberatrophie (auch im sauren Harn, cfr. S. 85. Fig. 51).

c) Kugelige undurchsichtige Massen, stechapfelartig mit feinen Spitzen besetzt oder drüsenförmige Conglomerate aus kleinen keulenförmig gebogenen Körpern sind harnsaures Ammoniak (Fig. 144).

II. **Das Sediment enthält amorphe Massen.**

In einem alkalischen Harne bestehen diese aus phosphorsaurem Kalke.

III. **Das Sediment enthält organische Körper.**

Dieselben, welche unter A. III. a—g angeführt wurden; ausserdem Gährungs-, Faden- und Spaltpilze, Infusorien, Konferven (Fig. 145).

Harnsteine und ihre Bestimmung.

Die Blasen- und Nierensteine des Menschen bestehen aus: Harnsäure, harnsauren Salzen, Xanthin, Cystin (Cholesterin), Indigo, phosphorsaurer Ammoniak-Magnesia, oxalsaurem Kalk, phosphorsaurem Kalk, kohlensaurem Kalk, Fett und eiweissähnlichen Verbindungen wie Schleim, Epithelien, Blutkoagula etc. Auch Harnröhrensteine aus »Phosphaten« bestehend, hat man beobachtet. — Im Folgenden schliessen wir uns hauptsächlich v. Gorup-Besanez' Angaben an.

1) Die Harnsteine bestehen am häufigsten grösstentheils oder ganz aus Harnsäure. Sie sind dann meist hart, von rothbrauner, braungelber, selten weisser Farbe; ihre Oberfläche kann glatt oder mit stumpfen Warzen besetzt sein, der Bruch zeigt sich krystallinisch oder erdig. Auf dem Durchschnitt erscheinen dünne, concentrische Schichten.

2) Nur aus harnsaurem Ammoniak bestehende Steine sind selten, meist zeigen sich solche Steine als Gemenge von harnsaurem Ammoniak mit freier Harnsäure und anderen harnsauren Salzen. Am häufigsten findet man sie bei Kindern, äusserlich ähneln sie meist den eigentlichen Harnsäuresteinen.

3) Harnsaure Salze mit feuerbeständiger Basis (Kali, Natron, Kalk) finden sich als Beimengungen von Steinen aus Harnsäure. Von der freien Harnsäure lassen sie sich durch kochendes Wasser trennen.

4) Häufig sind Steine aus oxalsaurem Kalk. Gewöhnlich erscheinen sie rund, mit einer Menge von Warzen besetzt (Maulbeersteine), dunkel, bräunlich gefärbt und meist von ziemlicher Grösse. Selten sind sie klein, blass, glatt: Hanfsamensteine.

5) Steine aus phosphorsauren Erden. Diese Steine haben eine weissliche Farbe, sind erdig, kreidig, bisweilen porös, zuweilen geschichtet und schalig.

6) Steine aus Xanthin sind sehr selten; Wöhler beschreibt einen solchen Stein. Er war an der Oberfläche von hellbrauner, stellenweise von weisslicher Farbe, auf dem Bruch matt, bestand aus concentrischen Schichten, bekam durch Reiben Wachsglanz und hatte ungefähr dieselbe Härte wie die harnsauren Steine.

7) Steine aus Cystin sind ebenfalls sehr selten. Sie sind von gelblicher Farbe, glatter Oberfläche, auf dem Bruche krystallinisch.

8) Einen Nierenstein fast lediglich aus Indigo fand W. M. Ord (F. Semon) in einer krebsig entarteten Niere. Er war grossentheils schwarzblau und gab auf Papier einen blauen Strich.

9) Steine aus Cholesterin, ganz den Gallensteinen ähnlich. Ein von Güterbock, Schultzen und Liebreich untersuchter Stein (von einem Weibe stammend) bestand vorwiegend aus Cholesterin neben kleinen Mengen Harnsäure, Kalk, Phosphat und Gallenfarbstoff (Bilirubin). Der Harn enthielt Gallenfarbstoff. Das Gesammtgewicht der Concremente betrug

13 Gramm. GUTERBOCK citirt noch zwei Fälle von »Gallensteinen« in der Harnblase aus der Literatur. Bei dem einen wurde eine zur Zeit der Section verwachsene Communication der Gallenblase mit der Harnblase durch den Urachus behauptet, während des Lebens soll hier und da »gallig-gefärbter« Harn entleert worden sein.

Den Krystallisationskern der Steine bildet meist ein Schleimpfropfchen, oder irgend ein kleiner festweicher Körper: Eiter-, Blut-, Epithelialpfropf etc., um welchen sich die steinbildenden Stoffe niederschlagen.

In sehr geringen Mengen und selten ist Kieselerde in Steinen beobachtet. Dagegen findet sich häufiger kohlensaurer Kalk neben kohlensaurer Magnesia. Man beobachtete hier und da Mörtelstückchen im Harn bei Simulation von Harnsteinen oder Harngries.

Schema zur Untersuchung der Harnsteine und anderer Konkretionen (nach v. GORUP-BESANEZ).

Für die Analyse der Harnsteine und anderer Konkretionen unterscheidet man (v. GORUP-BESANEZ): 1) vollkommen verbrennliche Steine, 2) zum Theil verbrennliche, 3) unverbrennliche.

Um diese Unterscheidung machen zu können, wird ein kleines Stückchen des Steines gepulvert und von diesem Pulver eine Messerspitze als Probe auf einem reinen Platinblech über der Weingeist- oder Gasflamme erhitzt. Die vollkommen verbrennlichen Steine bestehen nur aus organischen Materien; meist sind aber organische und anorganische Stoffe gemischt, so dass sich das Pulver auf dem Platinblech schwärzt, verbrannt aber mehr oder weniger viel Asche zurücklässt. Auch Steine, welche ganz (d. h. der überwiegenden Hauptmasse nach) aus anorganischen Stoffen bestehen, schwärzen sich bei dem Glühen, da ihnen stets etwas organische Materie beigemischt ist, sie brennen aber leicht weiss, ohne dass sich eine merkliche Volumveränderung erkennen lässt.

I. In vollkommen verbrennlichen Konkretionen kann enthalten sein, in Harnsteinen: Harnsäure, harnsaures Ammoniak, hippursaures Ammoniak, Xanthin, Cystin; in anderen Konkretionen: Cholestearin, Gallenfarbstoff (beide in Gallensteinen), Fibrin, Albumin oder Haare.

II. In zum Theil verbrennlichen Konkretionen können enthalten sein: harnsaures Natron, harnsaurer Kalk und alle unter I. angegebenen Stoffe.

III. Die unverbrennlichen Steine enthalten keine organische Beimischung.

A. Steine, welche beim Erhitzen auf Platinblech ohne oder mit geringem Rückstand verbrennen.

1) Man löst von dem Pulver eine sehr geringe Menge auf einem Porzellanscherben in einem Tropfen Salpetersäure und dampft nun auf möglichst kleiner Flamme unter fortwährendem Blasen und Wegnehmen des Scherbens von der Flamme zur Trockene.

a. Es entsteht eine rothgelbe Färbung, die mit einem Tröpfchen Ammoniak, das man von der Seite langsam zufliessen lässt, schön purpurroth wird: der Stein enthält Harnsäure (Murexidprobe S. 86).

Kocht man eine Portion des Steinpulvers mit Aetzkali, so entsteht keine Ammoniakentwickelung (durch den Geruch und feuchtes, in den Ammoniakdämpfen sich bräunendes Kurkumapapier nachzuweisen), wenn der Stein aus reiner Harnsäure besteht. Besteht er aus harnsaurem Ammoniak, so zeigt sich beim Kochen Ammoniak.

2) *a*. Gibt der Versuch der Murexidprobe kein Resultat, wird die abgedampfte salpetersaure Lösung nicht roth, sondern citronengelb, mit Kali rothgelb, beim Erhitzen violettroth, so kann der Verdacht auf Xanthin entstehen. Es ist in kohlensaurem Kali unlöslich.

b. Entsteht bei dem Abdampfen der Salpetersäure eine dunkelbraune Färbung, ist der Stein in kohlensaurem und kaustischem Ammoniak löslich, aus letzterer Lösung in mikroskopischen sechsseitigen Tafeln krystallisirend und durch Essigsäure daraus fällbar, so hat man das ebenfalls äusserst seltene Cystin vor sich.]

B. Steine, welche beim Erhitzen auf Platinblech einen beträchtlichen Rückstand hinterlassen.

1) Der Rückstand schmilzt leicht vor dem Löthrohre.

Verbreitet beim Erhitzen den Geruch nach Ammoniak, noch deutlicher bei dem Erwärmen mit Kali, ohne Aufbrausen in Essigsäure löslich, aus dieser Lösung durch Ammoniak krystallinisch fällbar, Glührückstand weissgrau: Phosphorsaure Ammoniak-Magnesia.

2) Der Rückstand schmilzt nicht vor dem Löthrohr.

a. Rückstand weiss, nicht alkalisch, braust weder vor noch nach dem Glühen mit Säuren, aus der salzsauren Lösung durch Ammoniak fällbar. Die essigsaure Lösung, mit oxalsaurem Ammoniak versetzt, scheidet oxalsauren Kalk aus: basisch phosphorsaurer Kalk.

b. Die frische Probe von Essigsäure nicht angegriffen, von Mineralsäuren ohne Aufbrausen gelöst und durch Ammoniak niedergeschlagen. Der Rückstand nach dem Glühen auf dem Platinblech alkalisch, mit Säuren brausend: oxalsaurer Kalk.

c. Die Probe verbreitet beim Glühen stark weisses Licht, braust schon vor dem Glühen mit Säuren, wird aus der neutralisirten, salzsauren oder aus der essigsauren Lösung durch oxalsaures Ammoniak gefällt: kohlensaurer Kalk.

3 Die Probe gibt die Murexidprobe, enthält also Harnsäure, hinterlässt aber beim Glühen einen Rückstand.

a. Dieser schmilzt vor dem Löthrohr und ertheilt der Löthrohrflamme eine intensiv gelbe Färbung: harnsaures Natron.

b. Verhält sich wie *a*, gibt aber keine gelbe Flamme, sondern eine violette und in der salzsauren Lösung mit Platinchlorid einen gelben Niederschlag: harnsaures Kali.

c. Schmilzt nicht vor dem Löthrohr und verhält sich nach dem Glühen als kohlensaurer Kalk: harnsaurer Kalk (2 *c.*).

d. Schmilzt nicht vor dem Löthrohr, der Rückstand löst sich unter schwachem Aufbrausen in verdünnter Schwefelsäure und wird aus dieser Lösung durch Kali oder phosphorsaures Natron und Ammoniak gefällt: harnsaure Magnesia. —

Die hier und da vorkommenden Prostata-, Speichel-, Nasen-, Bronchial-, Darmsteine etc. bestehen meist neben thierischen Materien: verhärtetem Schleim, Epithelien, eiweissartigen Körpern, überwiegend aus phosphorsauren und kohlensauren Erden, welche nach dem angegebenen Schema zu erkennen sind. Die thierischen Beimischungen stossen bei dem Verbrennen den Geruch nach verbranntem Horn aus.

Zufällige Harnbestandtheile.

Einige Stoffe, die wir in der Nahrung oder als Medikamente in den Körper einführen, erscheinen im Harne entweder unzersetzt oder mehr oder weniger verändert wieder. Diese Stoffe können als zufällige Harnbestandtheile bezeichnet werden. Oxydirbare Stoffe zeigen sich im Harn mit Sauerstoff verbunden in höheren Oxydationsstufen, als sie eingeführt wurden. In selteneren Fällen beobachten wir den Durchgang des Stoffes durch den Organismus mit einer Desoxydation verbunden. Stoffe, welche mit den Substanzen des Körpers schwerlösliche Verbindungen bilden, wie z. B. die Metalle, erscheinen nur dann im Harne, wenn sie in sehr grossen Gaben gereicht wurden. Sie werden grosstentheils in die Leber, Quecksilber z. B. aber auch in alle anderen Organe, namentlich Lymphdrüsen, Nieren, Nervencentren

und peripherische Nerven geführt, dort abgelagert und wahrscheinlich mittelst der Galle theilweise im Kothe entleert.

Es gehen in den Harn über (v. Gorup-Besanez): I. Unverändert:

a) von anorganischen Stoffen: die Athemgase mit der Kohlensäure, kohlensaure Alkalien, Salpetersäure, chlor-, bor-, kieselsaure Alkalien, Chlor-, Jod- und Bromalkalien, Ammoniak- und saure Salze. In sehr grossen Mengen eingeführt, oder bei fortgesetzter Einfuhr in kleinen Mengen Salze der schweren Metalle: Gold, Zinn, Wismuth, Blei, Kupfer, Quecksilber, Zink, Chrom, auch Arsen und Antimon. E. F. Hamburger constatirte, dass auch Eisen bei grösseren Gaben in den Harn übertritt, jedoch nicht als solches, sondern in einer organischen Verbindung, in welcher es durch die gebräuchlichen Eisenreagentien nicht nachweisbar ist.

b) von organischen Stoffen: freie organische Säuren gehen nach Wöhler wenigstens theilweise unverändert in den Harn über (während neutrale pflanzensaure Alkalien im Harn als kohlensaure Alkalien auftreten und den Harn alkalisch machen), auch Pikrin- und Hippursäure, Rhodankalium, Kaliumeisencyanür, Chinin, Morphin, Strychnin, Leucin, Harnstoff, die meisten Farb- und Riechstoffe gehen ohne oder mit nur geringer Veränderung in den Harn über. Wöhler konnte im Harne wiederfinden die Pigmente von: Indigo, Krapp, Gummigutt, Rhabarber, Campècheholz, Rüben, Heidelbeeren; dann die Riechstoffe von: Valeriana, Knoblauch, Asa foetida, Kastoreum, Safran, Terpentin.

Durch die Farbstoffe von Rheum und Senna, zwei sehr häufig gebrauchte Arzneimittel, kann der Urin so gefärbt werden, dass ein Verdacht auf Blut entstehen kann, die Harnfarbe kann durch sie tiefroth werden. Solcher Harn wird durch einen Zusatz einer Mineralsäure heller lichtgelb, während bluthaltiger Harn dadurch nicht aufgehellt, eher dunkler wird.

Theilweise finden sich im Harn wieder: Traubenzucker, Rohrzucker, Mannit und Alkohol, in übergrossen Mengen in den Magen gebracht oder direct ins Blut eingespritzt.

II. Nicht wieder gefunden wurden im Harn, auch nicht irgendwie verändert vom Magen aus: Kampher, Harze, Bernsteinsäure, Gallensäuren, Anilin, Moschus, Aether, Kokkusroth, Lakmus, Chlorophyll und Alkannafarbstoff.

III. Chemisch verändert erscheinen im Harn: freies Jod als Jodkali; Schwefelkalium als schwefelsaures Kali, saures schwefligsaures und unterschwefligsaures Natron als schwefelsaures Natron; Kaliumeisencyanid als Cyanür; Gerbsäure als Gallussäure; Benzoë-, Zimmt- und Chinasäure, dann Bittermandelöl und Benzoëäther, erscheinen als Hippursäure, Nitrobenzoësäure als Nitrohippursäure; Salicin als salicylige Säure, Salicylsäure, Saligenin; Toluylsäure als Tolursäure; Aepfelsäure, Asparagin als Bernsteinsäure; Harnsäure als Kohlensäure, Oxalsäure und Harnstoff; Xanthogensäure als Schwefelwasserstoff; Glycin als Harnstoff und Harnsäure; Theïn und Theobromin als Harnstoff (?); Alloxanthin, Allantoin, Leucin als Harnstoff; Kreatin als Kreatinin und Harnstoff; Allylsulfokarbamid (Thiosinnamin) als Rhodanammonium; Amygdalin als Ameisensäure; Indigoblau als Indigoweiss; Santonin als rothgelbes Pigment; neutralpflanzensaure Alkalien als kohlensaure Salze; doppeltkohlensaure Alkalien als phosphorsaure und neutralkohlensaure Alkalien; Ammoniaksalze (Salmiak, kohlensaures und ameisensaures Ammoniak) zum Theil als Harnstoff. — Die Untersuchungen wurden von Wöhler, Lehmann, H. Ranke, Meissner, Salkowski u. v. A. angestellt. Chinin erscheint nach Kerner als Dihydroxyl-Chinin, nach Guyochin als Chinidin, nach Personne zum geringen Theil unverändert, zumeist in »harzige Substanzen« verwandelt.

Systematischer Gang der Harnuntersuchung für ärztliche Zwecke.

1) Beabsichtigt man quantitative Untersuchungen zu machen, so hat man zuerst die während einer bestimmten Zeit (24 Stunden) entleerte und genau, ohne allen Verlust gesam-

melte Harnmenge zu messen. Man misst in einem Messglas, welches 500 oder 1000 cc fasst. Die Angabe der Harnmenge geschieht in Cubikcentimetern.

2) Man bestimmt das specifische Gewicht des Harnes. Dazu genügt die Bestimmung mit einer Senkwage: Urometer. Je tiefer das Urometer einsinkt, desto geringer ist das specifische Gewicht des Harnes, das man an der Urometerscala abliest.

3) Man prüft mit Lakmus- und Kurkumapapier die Reaktion am besten so, dass man mit einem reinen Glasstabe einen Tropfen aus dem Harne herausnimmt und auf das Reagenspapier bringt. Die Grenze des Tropfens auf dem Papiere (bei saurer Reaktion roth auf dem blauen Lakmuspapier, bei alkalischer Reaktion braun auf dem gelben Kurkumapapier) zeigt die Reaktion am deutlichsten.

4) Etwaige Sedimente untersucht man nach den oben dafür angegebenen Regeln.

5) Eine kleine Portion des sauren Harns untersucht man auf Eiweiss durch Erhitzen, eine andere durch Salpetersäurezusatz nach den angegebenen Regeln. Entsteht ein Koagulum, so ist Eiweiss vorhanden. Ueber alkalischen Harn cf. oben S. 582. Zu den weiteren Prüfungen muss das Eiweiss-Koagulum abfiltrirt werden. Das Koagulum ist *a*) weiss, dann besteht es höchst wahrscheinlich aus reinem Albumin; *b*) grünlich, dann entsteht der Verdacht auf Gallenbeimischung zum Harn; *c*) bräunlich, braunroth, man hat dann Blut zu vermuthen.

6) Ist der Harn abnorm gefärbt

a. roth, rothbraun, schwarz, so hat man auf Blut oder gelösten Blutfarbstoff zu untersuchen. Hellt sich solcher Harn bei einem Zusatz einer Mineralsäure auf, so kommt die Farbe von den Farbstoffen des Rhabarber oder der Senna, die als Medikamente genommen wurden.

b. Ist der Harn braun, braunschwarz, grünlich, schäumt er beim Umschütteln und färbt ein eingetauchtes Papier gelb, so hat man die Gmelin'sche und Pettenkofer'sche Probe auf Gallefarbstoff (und Gallesäuren) zu machen.

c. Ist der Harn sehr wenig gefärbt, sehr reichlich und zeigt trotz seiner geringen Färbung ein höheres specifisches Gewicht, so hat man auf Zucker zu prüfen. Manchmal kann zuckerhaltiger Harn auch tief-gelb gefärbt erscheinen.

7) Eine Probe des Harns versetze man mit der Hälfte des Volums concentrirter Salzsäure; färbt sich dieselbe nach kürzerer Zeit dunkel und scheidet sich beim Stehen ein blaues Pulver ab, so zeigt dies die Gegenwart des Indigo an.

8) Riecht der Harn sehr penetrant, widerlich, an Schwefelwasserstoff erinnernd, bräunt oder schwärzt er ein in dem Harngefäss über dem Harn aufgehängtes Papier, welches man mit Bleiessig getränkt hat, so entwickelt der Harn Schwefelwasserstoff. Andere Riechstoffe, die zufällig in den Harn gelangten, kann man am Geruch erkennen.

Ueber quantitative Bestimmungen der einzelnen Harnbestandtheile cf. oben S. 589 ff.

Sechzehntes Capitel.

Die Haut namentlich als Sekretionsorgan.

Schweissbildung und Hauttalg.

Wir haben die Haut als Hülfsorgan für die Lungen kennen gelernt, noch in viel höherem Maasse sind sie das für die Nieren. Während die Kohlensäureabgabe durch die Haut und die damit correspondirende Sauerstoffaufnahme nur sehr geringe Quantitäten erreicht, ist die Wasserabgabe der Haut, wobei das Wasser sowohl in Dampfform als insensible Perspiration als auch tropfbarflüssig als Schweiss abgeschieden wird, unter Umständen eine sehr bedeutende Grösse. Im Schweiss treten, wie im Harn, Salze, namentlich Kochsalz, unter Umständen auch Harnstoff, aus dem Blute aus, so dass sich hierin eine deutliche Analogie zwischen Nieren- und Hautthätigkeit ergibt.

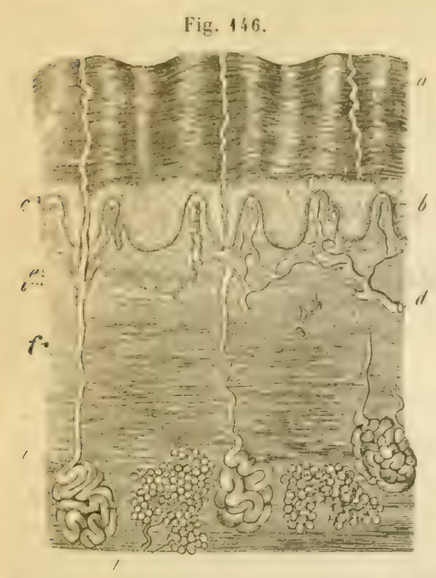
Es zeigt sich vor Allem in Beziehung auf die Wasserabgabe ein deutlicher Antagonismus zwischen den Thätigkeiten der beiden Organe. Wenn die Wasserabgabe durch die Haut eine gesteigerte ist, zeigt sich die Wasserausscheidung durch die Nieren vermindert et v. v. Da die Hautthätigkeit vor Allem durch Wärme angeregt, durch Kälte herabgesetzt wird, so wird im Winter bei gleicher Flüssigkeitsaufnahme in den Körper im Verhältnisse mehr Wasser durch die Nieren abgegeben als im Sommer, was durch die Beobachtung leicht bestätigt werden kann.

Die Hautthätigkeit regulirt vor Allem die Wärmeabgabe des Organismus (Cap. XVII), namentlich durch stärkere oder geringere Wasserverdunstung an ihrer Oberfläche, wodurch eine grössere oder geringere Menge Wärme, um das Wasser dampfförmig zu machen, gebunden wird. Die Regulirung des Wärmeabflusses wird durch die Hautbedeckung: die Haare unterstützt, als deren Ersatz an nackten Körperstellen bei dem Menschen die Kleider fungiren. Die Haut als Organ des Tastsinnes findet an einer anderen Stelle (bei den Sinnesorganen) ihre Besprechung.

Anatomisches über die Haut. — Die allgemeine Hülle des Körpers, die äussere Haut, besteht aus zwei in ihrer Dicke sehr verschiedenen Lagen, aus der dünneren, gefäss- und nervenlosen Oberhaut und aus der Lederhaut, in deren bindegewebige Grundlage zahlreiche Nerven und Gefässe ein-

treten (Fig. 146). In der Haut finden sich zweierlei Arten von Drüsen: Talgdrüsen und Schweissdrüsen. Als Anhänge der Haut sind zu nennen: Haare und Nägel.

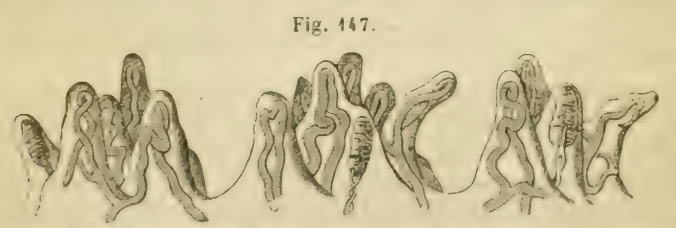
Fig. 146.



Die Haut des Menschen im senkrechten Durchschnitt. *a* oberflächliche Schichten der Epidermis; *b* Malpighi'sches Schleimnetz. Darunter die Lederhaut, nach oben bei *c* die Papille bildend, nach unten in das subcutane Bindegewebe ausgehend, in welchem bei *h* Ansammlungen von Fettzellen erscheinen; *g* Schweissdrüsen mit ihren Ausführungsgängen *e* und *f*; *d* Gefässe; *i* Nerven.

Die Lederhaut zerfällt in zwei Schichten, in die eigentliche Lederhaut und das Unterhautzellgewebe, welches aus lockeren Maschenräumen von Bindegewebe besteht, in denen Fettzellen in grösserer oder geringerer Zahl und verschiedener Füllung eingelagert sind. Die eigentliche Lederhaut besteht aus Bindegewebe, in welches zahlreiche elastische Fasern eingewebt sind. In dem oberen Theile der Lederhaut, der Pars papillaris, ist das Flechtwerk der sich kreuzenden Bindegewebsbündel dichter als in der unteren Hälfte; dort ist das Gewebe lokkerer, netzförmiger: Pars reticularis. Die Lederhaut ist am dicksten an der Ferse, am dünnsten an den Augenlidern und an dem äusseren Gehörgang. Ihre äussere Oberfläche ist mit Erhebungen besetzt, die an der Kopfschwarte als Leistchen, an den meisten übrigen Hautstellen als Wärzchen oder Papillen erscheinen: Hautwärzchen, Hautpapillen (Fig. 147). Sie stehen an verschiedenen Körpertheilen sehr verschieden dicht, entweder regellos neben einander oder an der Hand- und Fussfläche in regelmässigen Wirbel- oder spiralförmigen Reihen neben einander. An diesen Orten sind die Hautpapillen am

Fig. 147.



Drei Gruppen von Gefühlswärzchen der Haut des menschlichen Zeigefingers im Vertikalschnitt, theils Gefässschlingen, theils Tastkörperchen führend.

besten ausgebildet. Man kann sie in Gefässpapillen und Nervenpapillen scheiden. Namentlich in den letzteren finden sich die nervösen Tastorgane, die Tastkörperchen u. a., welche bei dem Hautsinne eine nähere Beschreibung erfahren werden. In jede Gefässpapille steigt eine Gefässschlinge empor, deren Schenkel sich dicht, manchmal spiralig gedreht an

einander anschmiegen. In der Lederhaut finden sich reichlich (Kolliker) organische Muskelfasern: unter der Haut des Hodensacks bilden sie eine zusammenhänge Lage, die Erectilität der Brustwarze rührt von ihnen her. Ueberall, wo Haare und Talgdrüsen stehen, finden sie sich ebenfalls. Letztere entspringen unter der Epidermis und ziehen schief zum Haarbalg, an dem sie sich festsetzen.

Ueber die Oberfläche der Lederhaut, welche sich durch ein glashelles Häutchen, Glashaut, in welches ovale Kerne eingebettet sind, nach aussen abgrenzt, zieht sich die Epidermis, die Oberhaut. Sie folgt allen Vertiefungen und Erhebungen der Lederhautoberfläche, so dass durch sie auch die zierlichen Linien nicht verwischt werden, in welchen die Wärzchen und Leistchen der Haut gereiht sind. An denselben Stellen, an welchen die Lederhaut sich verdünnt oder verdickt, thut dieses auch die Oberhaut. Sie ist sehr dick in der Hohlhandfläche, Fusssohle und Ferse. Chemisch besteht die Epidermis aus Hornstoff, mikroskopisch ist sie aus Zellen zusammengesetzt, deren obere Schicht flache Zellenblättchen, die untere rundliche Zellen erkennen lässt, neben den sogenannten Stachel- oder Riffzellen, deren ganze Oberfläche über und über mit stacheligen Fortsätzen besetzt ist, mit denen die nachbarlichen Zellen auf das Innigste ineinander greifen. Die letztbeschriebenen Zellenformen finden sich auch in mehrfach geschichteten Epithelien, z. B. an der Mundhöhle (Fig. 32). Die obere Schicht der Epidermis wird als Hornschicht, die untere als Schleimschicht oder Rete Malpighii beschrieben; die Schleimschicht stösst an die Lederhaut; ihre Zellen sind weiche, feuchte, kernhaltige Bläschen: die untersten, der Lederhaut anliegenden Zellen haben eine längliche (cylindrische), die darüber liegenden eine kugelige Form. Gegen die Hornschicht platten sie sich immer mehr ab und verändern durch gegenseitigen Druck ihre Gestalt in eine vieleckige. Die dunkle Hautfärbung verschiedener Hautstellen der weissen und dunkeln Menschenracen: an den Genitalien, After, Brustwarze, Leberflecken und Sommersprossen etc., rührt von Farbstoffkörnchen her, die in die Zellen der Schleimschicht sich eingebettet finden. Die Lederhaut ist nicht gefärbt. Die Hornschicht ist trocken, härtlich, ihre Zellen unregelmässig gestaltete Schüppchen, die aber unter Anwendung quellender Substanzen (Essigsäure, Alkalien) die Bläschenform wieder annehmen können. Beim Neger ist die Hornschicht nicht schwarz, sondern nur leicht gelblich oder bräunlich gefärbt.

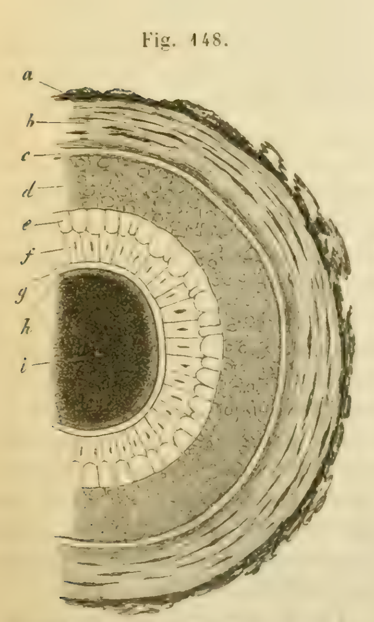
Die Lederhaut enthält Lymphgefässe und Lymphräume, in ihren unteren Lagen finden sich Lymphgefässnetze (Teichmann). Die Papillen sollen physiologisch keine Lymphgefässe haben, in hypertrophirte Papillen der Fusssohle dringen einzelne blind endigende Lymphgefässäste ein (Teichmann).

Die Lederhaut ist sehr nervenreich. Die Nervenendigungen in den Tastkörperchen werden bei den Sinnesorganen besprochen werden, ausserdem besitzt die Lederhaut marklose Nervengeflechte, von denen Fasern in die Schleimschicht vordringen und dort mit knopfförmigen Anschwellungen endigen (Langerhans) (cf. unten).

Die **Haare** schliessen sich in ihrer Zusammensetzung der Epidermis an, sie sind wie jene Horngebilde. Sie finden sich mit Ausnahme weniger Stellen (Hand- und Fusssohle) auf der ganzen Körperoberfläche, jedoch von sehr verschiedener Dicke und Länge. Die schlichten Haare sind rundliche Cylinder.

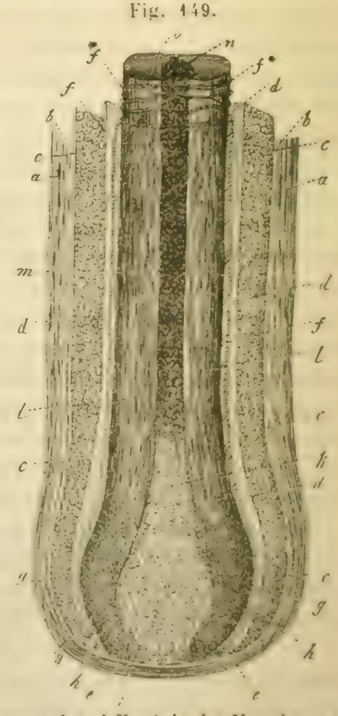
die krausen mehr oder weniger plattgedrückt. Sie sind fest, dehnbar, sehr hygroskopisch. Man unterscheidet an jedem Haare die in die Haut eingesenkte Wurzel und den frei hervorragenden Schaft. Der Schaft besteht bei den ausgebildeten Haaren aus Oberhäutchen, Rindensubstanz und Marksubstanz. Das Oberhäutchen besteht aus dachziegelförmig über einander gelagerten flachen, kernlosen Epidermisblättchen und bildet einen dünnen Beleg der Rindensubstanz, die die Hauptmasse des Haares darstellt. Sie hat ein streifig faseriges Aussehen und besteht aus langen, abgeplatteten, verhornten Zellen, die schichtweise neben und aufeinander liegen. Diese Zellen enthalten häufig Luft und Pigmentkörnchen. Eine Marksubstanz fehlt meist den feinen Haaren der nach gewöhnlicher Sprachweise unbehaarten Körperstellen, den Wollhaaren, hier und da auch den Kopfhaaren. Sie bildet einen aus rundlich eckigen Zellen bestehenden, in der Mitte des Haares gelegenen Strang. Diese Zellen sind mit fein vertheilter Luft angefüllt, die als glänzende Kügelchen erscheint (Fig. 148). Am unteren Ende schwillt der Haarschaft keulenförmig an zur Haarzwiebel, die mit ihrer trichterförmig ausgehöhlten Basis ein Wärzchen

Fig. 148.



Querschnitt durch ein Kopfhaar sammt dem Balge, etwas unterhalb der Mitte des letzteren, 350 mal vergr. *a* Längsfaserhaut des Haarbalges wenig entwickelt. *b* Querfaserschicht mit Bindegewebskörperchen. *c* Glashaut. *d* Aeussere Wurzelscheide. *e* Innere Wurzelscheide, äussere Lage. *f* Dieselbe, innere Lage. *g* Oberhäutchen des Haarbalges. *h* Oberhäutchen des Haares. *i* Haar selbst.

Fig. 149.



Haarwurzel und Haarbalg des Menschen: *a* der bindegewebige Balg: *b* dessen glashelle Innenschicht: *c* die äussere, *d* die innere Wurzelscheide: *e* Uebergang der äusseren Scheide in den Haarknopf: *f* Oberhäutchen des Haars (bei *f** in Form von Querfasern): *g* der untere Theil desselben; *h* Zellen des Haarknopfs; *i* die Haarpapille: *k* Zellen des Marks: *l* Rindenschicht: *m* lufthaltiges Mark: *n* Querschnitt des letzteren: *o* der Rinde.

der Lederhaut, die Haarpapille umgreift, welches eine birn- oder zwiebelförmige Gestalt besitzt und sonst die Structur einer Gefässpapille zeigt. Der unterste Theil der Haarzwiebel, mit dem sie auf der Haarpapille aufsitzt, besitzt den Bau der Schleimschicht der Epidermis, sie besteht aus denselben rundlichen, weichen, feuchten, kernhaltigen Zellen (Fig. 149). Weiter aufwärts differenziren sich die drei Schichten des Schaftes mehr und mehr; die sie zusammensetzenden Zellen tragen aber alle noch einen jugendlichen Charakter, sie sind noch deutlich kernhaltig und anstatt wie später mit Luft, noch mit Flüssigkeit gefüllt. Die Haarzwiebel steckt in einer Einstülpung der äusseren Haut, die als ein Säckchen: Haartasche, unten mehr ausgebuchtet, oben mit enger Oeffnung, das in ihm befindliche Haar umgibt. Der Haarbalg besteht aus einer zarten Lederhaut-, mit Glashaut- und Oberhautschicht; er ist eine Einstülpung der gesammten Haut. Die Epidermis des Haarbalges bildet die sogenannte Wurzelscheide, welche sich der Haarwurzel ringsum anschmiegt. Am Grunde des Haarbalges gehen die Zellen der Wurzelscheide in die der Haarzwiebel über. Die Haare stecken schief in der Haut, die obenerwähnten Muskelfasern setzen sich so an dieselben an, dass bei ihrer Contraction die Haare sich aufrichten, und etwas über die Hautoberfläche erheben: Gänsehaut.

Zur Entwickelungsgeschichte. — Nach Stieda und Feiertag ist beim Embryo das erste Stadium der Bildung eines Haars eine lokale Wucherung von Epidermiszellen, wodurch ein in die Cutis hineinwuchernder Fortsatz, der Haarkeim entsteht, aus welchem sich, durch innere Differenzirung, der Haarschaft und die Haarscheiden oder Wurzelscheiden entwickeln, während der Haarbalg aus dem umgebenden Bindegewebe der Cutis hervorgeht. Die Neubildung von Haaren im späteren Alter geht dagegen von einer Zellenwucherung der äusseren Haarscheide aus, wodurch ein sekundärer Haarkeim gebildet wird, niemals entsteht ein neues Haar auf der alten Papille.

Zur vergleichenden Physiologie. — Ueber Tasthaare und ihre Nerven cf. bei Tastsinn. R. Bonnet findet die Haarpapille bei den schwellkörperlosen Haarbälgen der Hausthiere vollkommen nervenlos, sie hat nur die Bedeutung eines Keimlagers, dagegen findet er an all diesen Haarbälgen einen in Bau und Lage übereinstimmenden nervösen Terminalapparat. Dicht an der Glashaut bilden markhaltige Nervenfasern längsverlaufende Schlingen oder Cirkeltouren um den Balg; diese Fasern endigen als nackte Axencylinder, indem sie theils einen in Glashautlängsfalten gelegenen Terminalfasermantel bilden, der aus parallelen, lanzettförmig sich verbreiternden, alle ziemlich in einem Niveau endigenden nackten Axencylindern besteht, theils umspinnen sie ringartig den Terminalfasermantel, ausserhalb von demselben in den Querfältchen der Glashaut verlaufend. Bei den Bälgen der Schwellkörper besitzenden Haare durchbohren nach Bonnet mehrere grössere Nervenstämmchen die äussere Scheide; indem sie sich verästeln, bilden sie in der innern Balglage ein kelchförmiges Geflecht, die Fasern der oberflächlichen Lage des letzteren durchbohren die Glashaut, verlieren ihr Mark und bilden einen Endknospenmantel, der die Wurzelscheidenanschwellung überzieht. Auch im tiefer gelegenen Wurzelscheidentheil finden sich einzelne Endknospen, welche mit den Fasern der tieferen Lagen des erwähnten Geflechtes verbunden sind. Bei Ratte und Maus umspinnt ein eigenes Nervengeflecht den Haartaschenhals.

Die **Nägel** sind stark verhornte Epidermispartien, an denen sich Horn- und Schleimschicht unterscheiden lässt, mit denselben zelligen Elementen, die wir bei der Epidermis kennen gelernt haben. Der Theil der Lederhaut, auf welchem der Nagel aufruht: das Nagelbett, erhebt sich zu (von hinten nach vorne laufenden) Leistchen mit Papillen. An dem hinteren und den beiden

seitlichen Rändern des Nagelbettes erhebt sich die Lederhaut zu einem Falz, Nagelfalz, in welchem die Wurzel und die Seitenränder des Nagels eingelagert sind.

Die Schweissdrüsen kommen in reichlicher oder spärlicherer Anzahl fast in der ganzen Haut des Körpers vor, sie fehlen nur an der Eichel des Gliedes; an der concaven Fläche der Ohrmuschel, wo man sie bisher vermisst hatte, haben sie Stieda und Horschelmann nachgewiesen. Man unterscheidet an ihnen den eigentlichen Drüsencanal, welcher die Haut durchbohrt und als Schweisspore an der Oberfläche mündet, und das knäuelförmig aufgewundene Ende des Canalschlauches, das als rundes Körperchen entweder noch in der unteren Schicht der Lederhaut oder an der Grenze dieser und des Unterhautzellgewebes liegt. In der Achselgrube sind sie sehr entwickelt und bilden eine zusammenhängende Schicht unter der Lederhaut. Der Schweissdrüsencanal besteht aus einer Membrana propria, welche von rundlich eckigen Zellen in ein- oder mehrfacher Lage ausgekleidet wird. Sie stimmen in Form und Verhalten mit den Zellen der tiefern Schicht des Rete Malpighii zusammen; sie enthalten häufig Fett- und Farbstoffkörnchen. In der Wand der grösseren Schweissdrüsen, namentlich bei denen in der Achselhöhle, findet sich eine förmliche Lage organischer Muskelfasern; an anderen kleineren und weniger entwickelten Drüsen zeigen sich ebenfalls Muskelfasern, aber weniger reich und regelmässig geordnet. Der von dem Drüsenknäuel aufsteigende Ausführungsgang ist in der Lederhaut wenig geschlängelt, die Oberhaut durchsetzt er, indem er seine Wandung verliert und nur als Lücke zwischen den Epidermiszellen erscheint, in korkzieherartigen Windungen; seine Oeffnung auf der Oberfläche der Epidermis (Schweisspore) ist meist etwas trichterförmig erweitert.

Die Ohrenschmalzdrüsen gleichen den Schweissdrüsen im Bau. Sie finden sich im knorpeligen Theile des Gehörganges zwischen seiner Hautbedeckung und dem Knorpel. In dem Drüsenknäuel zeigt sich das Epithel stark fetthaltig, mit gelben Farbkörnchen gefüllt; den Zellen in dem Ausführungsgange der Drüse fehlt diese Füllung. An der Membrana propria der Ohrenschmalzdrüsen sind reichlich organische Muskelfasern.

Die Talgdrüsen der Haut (Glandulae sebaceae) finden sich fast über die ganze Haut verbreitet und secerniren den Hauttalg oder die Hautschmiere, Sebum cutaneum. Sie sind kleine, entweder einfach birnförmige, schlauchförmig verästelte oder zusammengesetzte traubenförmige Drüsen (Fig. 150). Die Talgdrüsen kommen in grösster Anzahl an behaarten Stellen vor und münden zugleich mit den Haarbälgen an der Hautoberfläche. Die kleinsten Talgdrüsen stehen an den Kopfhaaren je zwei; an den Haaren des Bartes, der Achselgrube, der Brust sind sie grösser, am bedeutendsten an den Haaren der Geschlechtstheile. An den Haaren des Naseneinganges, der Augenbrauen, Augenwimpern zeigen sich je zwei Talgdrüsen. An den Wollhaaren der Nase, des Warzenhofes, des Ohres finden sich meist Drüsenhäufchen oder grössere Drüsen, namentlich an der Nase sind die Talgdrüsen stark entwickelt. Am rothen Lippenrande und an den Labia minora lagern Talgdrüsenschichten, welche nicht mit Haaren zusammenhängen. Jede Drüse besitzt einen glashellen, kernhaltigen Hüllschlauch, der im Innern mit rundlich eckigen Zellen ausgekleidet ist, welche

reichlich mit Fett erfüllt sind, aber auch meist noch einen Kern wahrnehmen lassen.

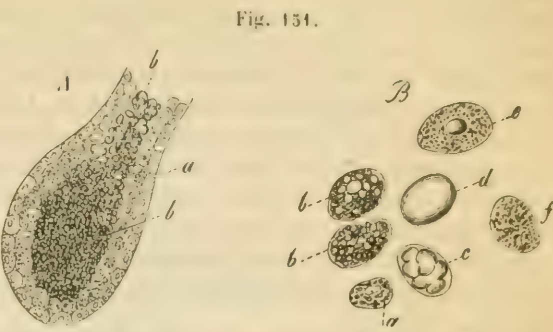
Die Schweiss- und Ohrenschmalzdrüsen sind mit einem reichlichen Kapillarnetze umsponnen, das den kleineren Talgdrüsen fehlt. Darauf beruht die verschiedene Mechanik ihrer Sekretbildung. Während der Schweiss unter den

Fig. 150.



Eine Talgdrüse. *a* Die Drüsenbläschen; *b* der Ausführungsgang; *c* der Balg eines Wollhaars; *d* der Schaft des letzteren.

Fig. 151.



A Ein Drüsenbläschen einer gewöhnlichen Talgdrüse, 250 mal vergr. *a* Epithel scharf begrenzt, unmittelbar übergehend in die fetthaltigen Zellen; *b* im Innern des Drüsenschlauches. *B* Talgzellen aus den Drüsenschläuchen und dem Hauttalge, 350 mal vergr. *a* Kleinere fettarme, noch mehr epithelartige kernhaltige Zelle; *b* fettreiche Zellen, ohne sichtbaren Kern; *c* Zelle, in der das Fett zusammenzufliessen beginnt; *d* Zelle mit Einem Fetttropfen; *e*, *f* Zellen, deren Fett theilweise ausgetreten ist.

Bedingungen des gesteigerten Druckes in den Hautkapillaren abgesondert wird, ist das Sekret der Talgdrüsen kaum etwas anderes als der Inhalt der in fettiger Metamorphose zerfallenen Drüsenzellen. (Zur Entwickelungsgeschichte und vergleichenden Anatomie cf. Cap. I. und in folgenden Capiteln.)

Schweiss und Schweissabsonderung.

Der Schweiss des Menschen ist, obwohl Schottin Spuren eines Farbstoffs auffand, anscheinend farblos, durchsichtig, normal bei Beginn der Sekretion (cf. unten) sauer reagirend, von verschiedenem Geruch je nach den Hautstellen, von denen er gewonnen wurde. Der künstlich gesammelte Schweiss ist meist mit Hauttalg und Epidermisschuppen verunreinigt, daher trüb. Er gehört zu den wasserreichsten Sekreten, sein fester Rückstand schwankt nach den vorhandenen Analysen zwischen 0,4% und 2,2%. Die Hauptmasse dieses Rückstandes besteht aus Kochsalz von 0,2—0,6%. Ausserdem finden sich in ihm Fette, flüchtige Fettsäuren: Ameisensäure, Essigsäure, Buttersäure, Propionsäure und nach Einigen normal Harnstoff (Funke, Favre u. A., ich konnte ihn nicht konstatiren). Unter den anorganischen Salzen findet sich neben dem Kochsalz, das die Hauptmasse derselben ausmacht, auch Chlorkalium, phosphorsaures Kali, phosphorsaurer Kalk und Magnesia und Eisenoxyd. Wir sehen, es sind die Blutsalze, welche im Schweiss den Organismus verlassen. Favre will eine eigenthümliche, stickstoffhaltige Säure, Schweisssäure, im Schweisse aufgefunden haben. Berzelius erwähnt Ammoniaksalze.

Wir sehen Schweiss an der Hautoberfläche auftreten durch alle Momente, welche den Blutdruck in den Kapillaren der Schweissdrüsen über eine bestimmte, unbekannte Grösse erhöhen, also bei Vermehrung des Wassers im Blut und in den Organen, durch Trinken, besonders lauwarmer Getränke: durch anderweitig (auch durch manche Medicamente und Gifte) erhöhten Druck im Arteriensysteme, Erweiterung der Kapillaren der Schweissdrüsen und der Haut. Wir sehen Schweiss mit Röthung der Haut aus der letztgenannten Ursache auftreten bei gesteigerter Temperatur der umgebenden Luft, besonders wenn dieselbe stark mit Wasserdämpfen geschwängert ist. Die Sekretion tritt dann wohl auf dem Wege der Filtration und Diffusion ein; auch hier mag, wie beim Harne, neben der Functionirung der Epithelzellen die saure Reaktion des Schweissdrüseninhaltes den Uebertritt des Albumins aus dem Blute in den Schweiss hindern. Nur ein Theil des Drüsensekretes stammt direct aus dem Blute; ein anderer, vor Allem das Fett, rührt von fettigem Zerfall der Drüsenzellen her. Die organische Muskulatur der Haut und der Drüsen selbst betheiligt sich an dem Auspressen des Sekretes aus den Drüsenschläuchen und Knäueln.

Es bestehen vasomotorische nervöse Einflüsse auf die Schweissbildung. Neuerdings hat man auch eigentliche Schweissnerven nachgewiesen. An Pferden hat Huxley experimentirt, Luchsinger an jungen Katzen, welche an den haarfreien Stellen der Pfoten leicht schwitzen. Reizung des Ischiadikus bringt Schweissabsonderung hervor; die Drüsennerven verlaufen nach seinen Erfahrungen im Ischiadikus, weiterhin im Bauchstrang des Sympathikus, das Centrum der Schweissnerven der Hinterpfoten liegt im Rückenmark zwischen dem 9. Rücken- bis 5. Lendenwirbel. Nach Nawrocki gehen »an der Grenze des Brust- und Lendenmarks« nur die Schweissnerven für die unteren Extremitäten ab. Er findet das allgemeine Schweisscentrum für obere und untere Extremitäten im verlängerten Mark. Für die oberen Extremitäten gehen die Schweissnerven, was Luchsinger im Allgemeinen bestätigt, am 4. Brustwirbel aus dem Rückenmark ab, verlaufen dann im Bruststrang nach dem Ganglion stellatum, treten dann in den Plexus brachialis, schliesslich in den N. medianus (und ulnaris) über.

Je nach dem Reichthum der Hautstellen an Schweissdrüsen ist die Schweissabsonderung an einer Stelle der Haut stärker als an der andern, Stirn und Achselhöhlen schwitzen am stärksten. Krause zählte auf einem □″ Haut an der hinteren Rumpfseite 440—600 Drüsen, ebensoviel an der Wange, dem Ober- und Unterschenkel; 940—1090 an der Vorderseite des Rumpfes, Hals, Stirn, Vorderarm, Hand- und Fussrücken, 2685 an der Sohle, 2736 an der Handfläche. Die Gesammtzahl ohne die Schweissdrüsenknäuel der Achsel berechnet sich danach etwa auf 2380248 (Krause), da der Gesammtflächenraum, der der Schweissabsonderung dient, eingerechnet die Drüsen der Achselhöhle circa 39653 Cubikzoll beträgt (Krause) (Ueber die Oberfläche des Menschenkörpers cf. auch oben S. 543). Diese grossen Zahlen lassen begreifen, wie die Schweissabsonderung dann, wenn die Bedingungen zu ihrer Entstehung zusammentreffen, eine sehr grosse sein kann. Nach den Bestimmungen Favre's, der den Schweiss in einem Schwitzbade auffing, während die Versuchsperson darin nackt auf einer Metallrinne lag, in welche der Schweiss abfloss, betrug

die in $1^1/_2$ Stunde entleerte Menge zwischen 1500 und 2500 Gramm. In einem Schwitzbade verlor ich während 17 Minuten 1280 Gramm Schweiss. Unter anderen Umständen kann bei vollkommener Gesundheit die Schweissbildung Monate lang ganz unterbleiben. Manche Personen schwitzen sehr leicht und viel, andere wenig, ohne dass sich immer ein Grund dafür in der allgemeinen Körperbeschaffenheit auffinden liesse. StarkeMuskelanstrengung wirkt wie die gesteigerte äussere Temperatur schweisstreibend. Auch psychische Einflüsse, z. B. Furcht, sehen wir oft auf die Schweissbildung von beförderndem Einfluss. Merkwürdig ist es, dass unter Umständen die Hemmung, welche der Schweissbildung entgegensteht, krankhaft so bedeutend werden kann, dass auch bei Zusammentreffen aller Schweiss befördernden Momente doch die Haut nicht zum Schwitzen kommt. In anderen Krankheitsfällen ist es umgekehrt. Ein Fingerzeig, dass es sich hierbei um auch sonst wirksame Absonderungseigenthümlichkeiten handelt, liegt darin, dass nach starker Schweissbildung diese öfters auch bei scheinbarem Fortbestand der Bedingungen dazu nachlässt.

Mit der stärkeren Absonderung und zunehmenden Schweissmenge nehmen nach Funke die organischen Stoffe im Schweisse ab, die anorganischen zu. Die erst secernirten Partien Schweiss reagiren sauer, die späteren neutral, selbst alkalisch. Die saure Reaktion und der Schweissgeruch rührt zumeist von freien Fettsäuren her.

Nach A. Moriggia's Versuchen an Thieren wäre der Schweiss der Fleischfresser gewöhnlich sauer, der der Pflanzenfresser meist alkalisch; der auf Reize stärker fliessende Schweiss an den Pfoten der Katze ist alkalisch. (B. Luchsinger und D. Trümpy.)

In dem Sekrete der Ohrenschmalzdrüsen überwiegen die Fette und Kaliverbindungen fetter Säuren. Neben den anorganischen Salzen findet sich Oleïn und Margarin, aber auch ein Albuminat und ein löslicher bitterer Stoff. Das Mikroskop zeigt in dem Ohrenschmalz Fettzellen, freies Fett, Cholesterinkrystalle, Epithelialzellen der Oberhaut. Das Sekret der Talgdrüsen besitzt die genannten mikroskopischen Elemente ebenfalls. Frisch abgesondert ist dasselbe halbflüssig, ölig, an der Oberfläche der Haut erstarrt es. Es enthält ausser Wasser ein caseïnähnliches Albuminat, Fette, Palmitin, Oleïn, Seifen mit den Fettsäuren der genannten Fette und anorganische Salze, die qualitativ mit denen des Schweisses übereinstimmen, quantitativ überwiegen aber die phosphorsauren Erden. Die vernix caseosa stimmt chemisch mit dem Hauttalge überein. Das Smegma praeputii soll eine Ammoniakseife enthalten. Es besteht stets zum grössten Theil aus abgestossenen Epidermiszellen der Eichel.

Hautthätigkeit bei krankhaften Zuständen.

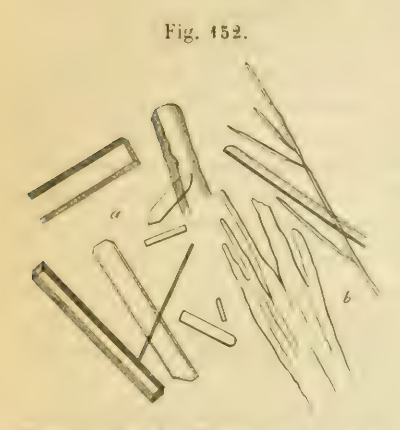
Für den Arzt sind die Veränderungen der Hautsekretion in Krankheiten sehr wichtig. Es ist bekannt, dass eine der häufigsten Krankheitsursachen in Einflüssen auf die Hautoberfläche: Erkältung besteht, von welcher wir anzunehmen gewöhnt sind, dass sie direct auf die Perspiration einwirke.

Der Schweiss zersetzt sich sehr leicht, es wird dabei wahrscheinlich durch die Bildung flüchtiger Fettsäuren seine Reaktion noch saurer als normal, oder sie wird bei stärkerer Ab-

sonderung und durch den Zerfall stickstoffhaltiger Stoffe (Harnstoff?) alkalisch, wobei Ammoniaksalze auftreten.

Ueber die krankhafte Veränderung der chemischen Zusammensetzung des Schweisses sind nur wenige sichere Angaben vorhanden. Am sichersten konstatirt ist ein bedeutender Harnstoffgehalt (SCHOTTIN u. A.) des Schweisses bei gehinderter Harnstoffausscheidung durch die Nieren, wie sie bei organischen Nierenleiden und Cholera vorkommen kann. Der Harnstoffgehalt des Gesichtsschweisses kann in der Cholera so gross sein, dass er sich, wie das Kochsalz bei sonstigen starken Gesichtsschweissen, als ein krystallinischer glänzender Beleg nach dem Verdunsten des Wassers auf der Haut abscheidet (Fig. 152). Um den Harnstoff zu erkennen, löst man etwas von dem abgeschabten Belege der Haut in Alkohol, verdampft im Wasserbade bis fast zur Trockne und prüft den gebliebenen Rückstand durch Zusatz von wenig Salpeter- oder Oxalsäure, mit welchem charakteristische, krystallinische Verbindungen des Harnstoffs entstehen. Lässt man concentrirte Harnstofflösung und reine (nicht rauchende) Salpetersäure unter dem Mikroskop zusammenfliessen, so bilden sich zuerst stumpfe Rhombenoktaëder, an die sich immer mehr Massentheilchen anlegen. Es entstehen endlich rhombische oder hexagonale Tafeln. Der spitze Winkel derselben misst 82°. Aehnlich schlägt sich der Harnstoff aus seinen Lösungen durch Zusatz concentrirter Oxalsäurelösung nieder, in hexagonalen Tafeln, oder seltener als vierseitige Säulchen (Fig. 153).

Fig. 152.

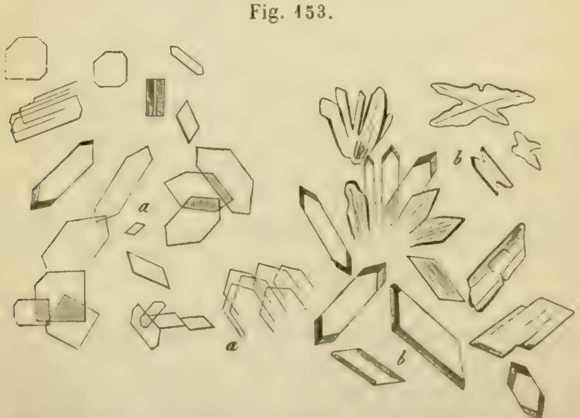


Krystallisation des Harnstoffs. *a* Auskrystallisirte vierseitige Säulen. *b* unbestimmte Krystalle, wie sie aus alkoholischer Lösung anzuschiessen pflegen.

Im Schweiss Diabetischer konnten NASSE u. A. Zucker nachweisen.

Im stinkenden Fussschweiss finden sich durch faulende Epidermisabschuppungen, Drüsensekret und Schmutz: Leucin, Tyrosin, Baldriansäure, Ammoniak etc.

Fig. 153.



Krystalle der Verbindungen des Harnstoffs mit Salpetersäure und Oxalsäure. *a a* Salpetersaurer Harnstoff. *b b* Oxalsäure.

Im Hitzestadium bei Wechselfieber soll sich im Schweiss viel buttersaurer Kalk zeigen.

Im Schweiss »Steinkranker« soll sich Harnsäure finden.

Im klebrigen Schweisse bei Rheumatismus acutus will man Albumin gefunden haben.

Der Schweiss zeigt sich hier und da gefärbt. Bei Icterus können vielleicht die Gallenfarbstoffe den die Wäsche manchmal gelb färbenden Farbstoff abgeben. Man hat rothe und blaue Schweisse beobachtet, als Grund der letzteren konnte BIZIO in einem Falle Indigo erkennen. FORDAS glaubt, dass die blaue Farbe auch von Pyocyanin herrühren konnte (s. Eiter), wofür auch wahrscheinlich eine Beobachtung SCHWARZENBACH's spricht (Ueber die Farbstoffe cf. das Nähere oben Cap. II. S. 89). Der rothe Schweiss erhält seine Farbe meist von Beimischung von Blut. FERRAES beobachtete bei Paralytikern an der Kopfhaut wahre Blutungen aus den Schweissdrüsen; A. v. FRANQUE sah rothen, blutkörperchenhaltigen Schweiss bei einer hysterischen Frau, es gingen zuerst Schmerzen in den später blutschwitzenden Hautpartien voran. M. TITTEL beobachtete dreimal Blutschwitzen an einem sonst gesunden jungen Manne. Auch ältere Beobachtungen der Art existiren. Der Ort des Blutschwitzens ist vorzüglich die Stirne, Brust, Achselhöhle, Hände, zuweilen tritt es nur halbseitig auf. Congestionen zu den betreffenden Hautpartien scheinen stets die Hauptursache dieser Affektion zu sein. Bei »gelbem Fieber« finden sich nicht selten blutige Schweisse. — Auch schwarze Schweisse an ganz lokalisirten Hautstellen (Augenlidern z. B.) wurden, wie es scheint, sicher beobachtet (Chromhydrose).

Einige Medikamente gehen in den Schweiss über, dessen Zusammensetzung sie also verändern. SCHOTTIN fand im Schweiss eingenommene Bernsteinsäure und Weinsäure wieder. Nach Einnahme von Benzoësäure soll der Schweiss wie der Harn Hippursäure enthalten. Nach Mittheilungen von G. BERGERON und G. LEMATTRE lassen sich im Schweisse von Individuen, welche arsensaures Kali oder Natron innerlich bekamen, diese Salze unverändert nachweisen. Arseniksaures Eisen zersetzt sich: das Eisen wird durch den Harn (cf. oben S. 613), Arsensäure durch den Schweiss ausgeschieden. Jodquecksilber erscheint im Schweiss als Quecksilberchlorid, während Quecksilberchlorid selbst unverändert in den Schweiss übergeht. Jodkalium konnten sie im Gegensatze zu Andern im Schweiss nicht auffinden.

Die Unterdrückung der Hautthätigkeit. — Sie wird als Krankheitsursache bei Erkältungen vielfältig vorausgesetzt (cf. unten folgende Seite) und wirkt bei Hautkrankheiten sicher mit. Man bestrich, um die Wirkung des Ausschlusses der Hautthätigkeit experimentell zu beobachten, die Haut von Thieren mit einem luftdichten Ueberzug, z. B. mit Firniss (Leinölfirniss, Gummi etc.). Es zeigt sich, dass die lackirten Thiere nach kürzerer oder längerer Zeit zu Grunde gehen. Der Tod tritt bei kräftigen Thieren später ein als bei schwächlicheren; nach GERLACH bei Pferden erst nach mehreren Tagen. Hat man nicht die ganze Haut gefirnisst, sondern eine grössere oder kleinere Stelle derselben frei gelassen, so werden die Erscheinungen um so geringer, je grösser die freibleibende Hautpartie ist. Nach EDENHUIZEN gehen aber Kaninchen noch zu Grunde, wenn mehr als $1/8$—$1/6$ ihrer Körperoberfläche der Perspiration verschlossen ist. Unmittelbar nach dem vollkommenen Ueberzuge sinkt bei ungehinderter Wärmeabgabe die Temperatur meist bis zum Tode, ebenso die Athmungs- und Pulsfrequenz. (Ueber die Athemchemie lackirter Thiere, cf. oben S. 519 u. 536.) Ist die bestrichene Stelle nur klein, so findet sich statt eines Sinkens der Athemfrequenz ein Steigen derselben. Es scheint, dass neben dem Sinken der Temperatur, Athemfrequenz und Pulsfrequenz ein »febriler Zustand« durch das Lackiren erzeugt werde, welch letzterer das charakteristische Bild der Herabsetzung der genannten Functionen bei geringer Ausdehnung der gefirnissten Fläche verdecken könne. GERLACH sah dem Absinken der Temperatur und der anderen Functionen bei Pferden stets eine Steigerung der Herzaktion und Athmungsfrequenz vorausgehen. Das Temperaturabsinken beobachtete er erst bei nahendem Tode. Die Thiere zitterten und magerten sehr rasch ab. Einige Stunden vor dem Tode traten als Zeichen gestörter Rückenmarksthätigkeit Krämpfe in verschiedenen Muskel-

gruppen ein. Bald nach dem Lackiren fand Socoloff im Harn Eiweiss. Die Section ergab eine diffuse parenchymatöse Entzündung der Nieren.

Was ist die Todesursache bei dem Ausschluss der Hautathmung? Die Versuche von Fourcault, Gerlach, Ducrois, Becquerel-Breschet, Magendie, Gluge etc. ergaben eine Ueberfüllung der Gefässe, Blutanhäufung im Herzen und Erguss in die Höhlen des Körpers von serösen Flüssigkeiten, zum Beweise, dass die Nieren und Lungen die sekretorische Thätigkeit der Haut nicht übernommen haben; Gerlach fand bei Pferden eine Vermehrung der Harnabsonderung. Es ergaben die Sectionen weiter: Hyperämie der Muskeln, Lungen, Leber, Milz, wässerige Ergüsse in die Pleura- und Bauchhöhle, Blutaustritte (Ecchymosen) der Magenschleimhaut, Blutüberfüllung und Oedem der Haut, alles Beweise einer eingetretenen Lähmung der Gefässnerven (Feinberg). Man dachte vielfältig daran, dass vielleicht die zurückgehaltenen Stoffe, welche im Schweiss ausgeschieden werden, »Perspirabile retentum«, die Ursache der Erkrankung sein könnten. Edenhuizen sah in der unter dem Ueberzuge eiternden Haut Tripelphosphatkrystalle (phosphorsaure Ammoniak-Magnesia). Hatte er kleine Partien der Haut von der Bestreichung frei gelassen, so konnte er während des Lebens (mittelst Hämatoxylinpapier) die Ausscheidung eines flüchtigen Alkali nachweisen, was bei gesunden Thieren nicht der Fall ist. Es ist fraglich, ob diese Ammoniaknachweise sich nicht einzig auf die in den eiternden jauchigen Wunden unter dem eingerissenen Lacküberzug, wie sie Edenhuizen bei seinen Thieren beschreibt, vor sich gehende Enstehung von Ammoniak durch Fäulniss beziehen. Dass diese krystallinische Ausscheidung von Tripelphosphat auch bei anderen Fäulnissprocessen im lebenden Thiere stattfinden kann, sah ich bei Kaninchen, die ich mit Substanz aus brandigen Wunden geimpft hatte, und deren fauliges Unterhautzellgewebe unmittelbar nach dem Tode mit diesen Krystallen ganz durchsetzt war. Es scheint mir der Gedanke, dass es sich wenigstens bei einigen der beschriebenen Erfolge des Lackirens um Zurückhaltung der sonst im Schweiss ausgeschiedenen flüchtigen Säuren handelt, sehr naheliegend zu sein. Dass derartige Säuren im Schweiss den Organismus verlassen, steht fest. Ebenso ist bewiesen, dass durch Einführung von Säuren in das Blut sowohl die Herzfrequenz als die Temperatur herabgesetzt werden kann. Die eintretende Gefässerweiterung an der überfirnissten Haut führt, wenn eine entsprechend grösste oder die ganze Hautfläche dadurch verändert ist, die starke Temperaturabnahme herbei, welche Rosenthal und Laschkewitz als eine Todesursache ansprechen. Doch konnte Socoloff durch Verminderung der Wärmeabgabe, indem er die Thiere in Watte wickelte, den Tod derselben nicht hinausschieben oder die Temperatur bedeutend erhöhen.

Bei **Erkältung** tritt zuerst (als Einleitung einer Erkrankung) eine Erweiterung der Kapillargefässe: Hyperämie ein, entweder bei lokaler Erkältung an dem direct betroffenen Orte oder bei allgemeiner Erkältung an einem locus minoris resistentiae stets durch reflectorische Uebertragung des Reizes von den Hautnerven auf die Gefässnerven des befallenen Organs (Heineke). J. Rosenthal beobachtete, dass bei Kaninchen in einer Temperatur von 36—40° C. die Körperwärme sehr rasch auf 44—45° C. ansteigt, alle Gefässe und die Pupillen werden erweitert, die Muskeln gelähmt. Dauert der Versuch nicht zu lange, so kehrt bei Zimmerwärme das Thier zur Norm zurück, aber seine Körpertemperatur sinkt unter die normale auf 30° C. und weniger und kann Tage lang diesen niedrigen Stand einhalten. Diese Abkühlung ist offenbar eine Folge der Lähmung der Hautgefässe. Es fliesst durch dieselben jetzt mehr Blut und das Thier wird abgekühlt. Wahrscheinlich tritt bei der sogenannten »Erkältung« ein ähnlicher Zustand ein, dieselbe kommt bekanntlich auch bei dem raschen Uebergang aus abnorm heisser Luft in kalte vor, z. B. von einem Tanzsaal ins Freie. Die grosse durch die Haut strömende Blutmasse wird rasch abgekühlt und damit auch alle inneren Organe.

Die Resorption durch die menschliche Haut.

Die Anwendung einer Reihe äusserlicher Medikamente, Mineralbäder etc. beruht auf der Annahme einer Hautresorption. Zweifelsohne besteht eine solche für gasformige Stoffe, Gerlach). Die Haut betheiligt sich bei der Athmung und absorbirt dabei Sauerstoff. Auch giftige oder anästhesirende Gase können, wie es scheint, resorbirt werden, so dass sie von der Haut aus wirken: Blausäure, Schwefelwasserstoff, Aether, Chloroform etc., vielleicht durch die Schweissdrüsen.

Eine Resorption flüssiger oder salbenartiger Stoffe von der unveränderten, normalen, menschlichen Haut aus ist dagegen bisher noch nicht sicher nachgewiesen. Die endosmotischen Versuche mit Epidermis ergeben für die Aufsaugung ein negatives Resultat. Tritt eine Aufnahme ein, so findet sie gewiss ebenfalls vor Allem durch die Drüsenmündung statt. Voit fand mikroskopische Quecksilberkügelchen auf Durchschnitten der Epidermis, einzelne sogar in der Cutis, nachdem er an dem noch warmen Körper einer Hingerichteten an der Beugeseite des Vorderames eine Portion graue Salbe eingerieben hatte. Donders sah Speichelfluss bei Hautentzündungen (Erysipelas) in Folge Quecksilberaufnahme in das Blut bei blossem Auflegen von Salben auf die entzündete Hautstelle eintreten. Dagegen konnte Braune nach einem Fussbad mit Jodkalium nur dann Jod in den Sekreten, in die es, sowie es im Organismus ist, sehr rasch übergeht, nachweisen, wenn die Verdunstung des Jods aus dem Bade nicht (durch eine Oelschicht) gehindert war, wobei die Aufnahme des Jodes durch die Athmung stattgefunden hatte.

In ein neues Stadium ist die Frage über Hautresorption durch die Beobachtungen Parisot's getreten. Er konnte durch genaue Versuche, theilweise an sich selbst angestellt, keine Aufnahme von wässerig gelösten Stoffen durch die unveränderte Haut nachweisen. Er experimentirte mit warmen Bädern von $1/2$—2 Stunden Dauer, welche grosse Quantitäten von Jodkalium, Ferrocyankalium, Chlorkalium, schwefelsaurem Eisenoxydul, Belladonna, Digitalis und Rhabarber enthielten. Er untersuchte Speichel und Harn, ohne jemals eine Spur der im Bade gelösten Stoffe in ihnen auffinden zu können; nach Belladonnabad trat keine Erweiterung der Pupillen ein, nach Digitalis keine Pulsverlangsamung, nach Rhabarber färbte sich der Harn nicht roth. Parisot zeigte nun, dass die Unfähigkeit der Haut, wässerige Stoffe zu resorbiren, von ihrem Fettüberzug, den dieselbe durch den Hauttalg erhält, herrühre. Brachte er die Stoffe in einem Medium gelöst auf die Haut, welches den Hauttalg auflöst und entfernt, z. B. in Alkohol, Aether und am sichersten Chloroform, so stellte sich sogleich Resorption ein. Atropinlösung, mit Chloroform vermischt auf die Haut applicirt, bewirkte, gegen die Stirn gehalten, in 3 Minuten Pupillenerweiterung, eine alkoholische Lösung bewirkte dasselbe erst nach einer halben Stunde, eine wässerige, essigsaure dagegen nicht.

Bei Fröschen ist die Hautresorption leicht nachzuweisen; v. Wittich machte Versuche mit positivem Resultat über Vergiftung von Fröschen durch verschiedene Lösungen von der Haut aus.

Die physiologische Hautpflege

stellt sich vor allem die Aufgabe der Reinlichkeit. Tägliche Waschungen des Gesammtkörpers sind für das Wohlbefinden und die Gesundheit von grösster Wichtigkeit. Die Wirkung der Seife besteht in dem Auflösen des fettigen Schmutzes auf der Haut, der dem Wasser trotzt. Nach Liebig steht der Verbrauch der Seife in directem Verhältniss zur Kulturhöhe der Völker. Die Reinlichkeit steht in demselben directen Verhältniss zur durchschnittlichen Gesundheit. Man hat bei der militärischen Gesundheitspflege von Einrichtung regelmässiger Badegelegenheiten (Badezimmer in den Kasernen) für die Truppen

den wesentlichsten Einfluss auf den durchschnittlichen Gesundheitszustand (resp. Krankenstand beobachtet. Es ist Pflicht, regelmässige Bäder den ärmeren Volksklassen durch städtische Einrichtungen zu ermöglichen. Keiner Corrections- oder Erziehungsanstalt darf ein Badezimmer mit regelmässiger Benutzung fehlen.

Der Wechsel der **Leibwäsche** ersetzt wenigstens in etwas das tägliche Bad des Gesammtkörpers. Die Leibwäsche saugt die Hautabsonderung in sich ein, sie nimmt in der Luft schwebenden Staub, der sich auf die Haut niederschlagen würde, auf und verhindert, namentlich durch fortwährendes Trockenhalten der Haut, die Ansammlung von Schmutz. Wir schicken unsere Leibwäsche von Zeit zu Zeit an unserer Statt ins Bad (Pettenkofer). Während der Nacht verliert das ausgezogene Taghemd sein hygroskopisch aufgesaugtes Wasser und wird dadurch wieder von neuem geschickt, seine Functionen nochmals zu erfüllen. Ebenso ist es am Tage mit dem Nachthemd.

Specielle Physiologie.

II.

Die Physiologie der Arbeitsleistung.

I. Thierische Wärme.

Siebzehntes Capitel.

Die Wärmeerzeugung des menschlichen Organismus.

Wirkung abnorm niedriger und hoher Temperaturen auf den thierischen Organismus.

Wir finden alle thierischen Organismen mit einer von der Temperatur ihrer Umgebung in weiten Grenzen unabhängigen Eigentemperatur begabt. Der normale, erwachsene menschliche Körper hat in der Achselhöhle gemessen eine ziemlich konstante Temperatur von etwa 37 ° (37,5 °) C.

In der Konstanterhaltung der thierischen Wärme besteht eine der Hauptfunctionen des Blutes.

Wir haben das Blut als die Hauptursache der Wärmeproduktion in den höheren thierischen Organismen kennen gelernt. Auf seiner Fähigkeit, Sauerstoff aufzunehmen und diesen den Organen zu ihren nöthigen Functionen zu übergeben, beruht die Möglichkeit der Wärmebildung während des Lebens. Sobald der Organismus aufhört, in physiologischer Weise Wärme zu bilden, hört er damit auf zu leben, da das thierische Leben zu allen seinen Functionen eine von aussen unabhängige Wärme bedarf. Aber auch noch abgesehen von der organischen Oxydation, welche das Blut ermöglicht, regelt das Blut auch durch seine Circulation die Wärme des Organismus und seiner Organe.

Die Betrachtung des Zellenlebens zeigte uns alle normalen organischen Vorgänge von einer konstanten, mittleren Temperatur abhängig. Der Muskel, der Nerv, die Drüsen werden in ihren Lebenseigenschaften beeinträchtigt, sowie ihre Temperatur um einige Grade unter die Norm sinkt. Wir sehen die Zuckung des Muskels, die Erregungsleitung im Nerven durch Kälte zuerst verlangsamt, dann ganz aufhören.

Bei lebenden Thieren (Kaninchen), deren Verhalten der **künstlichen Abkühlung** gegenüber man studirte, zeigte sich, wenn die Temperatur bis zu einem gewissen Grad gesunken war, eine Bewegungsträgheit, dann Schwinden der Gehirnfunctionen. Der Tod durch Erfrieren erfolgt durch eine Gehirnanämie (Blutleere), welche durch Herabsetzung der Herzthätigkeit

durch die Kälte eintritt. Das Herz functionirt ebenso wie alle Organe, unter die normale Temperatur erkaltet, weniger lebhaft. Bei weissen Kaninchen wird der Augenhintergrund im Tode durch Erfrieren blass, anämisch; es treten allgemeine Muskelcontractionen ein, in denen der Tod erfolgt (A. WALTHER). Die Abkühlung bei Kaninchen gelang bis zu + 15°. Wenn der Körper diese Temperatur angenommen hatte, war eine selbständige Wiedererholung des Thieres nicht mehr möglich. Die Herzfrequenz sinkt durch Erkaltung sehr bedeutend. Bei Kaninchen, deren Herz sich in der Minute normal etwa 100—150 mal contrahirt, sinkt bei einer Erkaltung auf + 20° C. die Frequenz der Herzschläge auf 50, ja auf 20 in der Minute. Endlich steht das Herz ganz still. Winterschlafende Säugethiere zeigen eine viel bedeutendere Resistenz gegen die Abkühlung. WALTHER konnte den Ziesel (Suslik der südrussischen Steppen), einen Winterschläfer, bis auf + 4° abkühlen, ohne dass er die Fähigkeit verlor, sich selbständig wieder zu erholen, wenn er in eine wärmere Temperatur von circa 10 bis 12° C. gebracht wurde. Es ist sehr bemerkenswerth, dass die Herzthätigkeit des Winterschläfers durch die Temperaturerniedrigung nicht in so bedeutender Weise sinkt, als bei dem Kaninchen. Bei + 20° C. Körpertemperatur zeigte der Suslik noch 150 Herzschläge in der Minute.

Die Angaben der Reisenden in arktischen Gegenden bestätigen die Beobachtungen über Erkältung bei Thieren auch für den Menschen. Dr. med. KANE, der berühmte Nordpolfahrer, beschreibt die Wirkung der übermässigen Kälte zuerst als in einer immer mehr zunehmenden Unlust zur Bewegung bestehend; die Hemmung der Bewegung durch Kälte steigt endlich bis zu einem so hohen Grade, dass die Aktion der Muskeln ganz unmöglich wird. Bald tritt eine Umnebelung der Sinne und Unfähigkeit zu denken ein, die fast unwiderstehlich zum Schlafen zwingt. Der genannte kühne Reisende beschreibt diesen Zustand des Erfrierens, der ihn mehr als einmal an die directe Grenze des Todes geführt hat, als schmerzhaft und ungemein peinlich. Er konnte Nichts von der Annehmlichkeit des Schläfrigwerdens bei dem Erfrierungstode bemerken, von welcher man im warmen Zimmer zu träumen pflegt. Es stimmt diese Selbstbeobachtung KANE's zu den oben angeführten Ergebnissen der physiologischen Experimente, welche eine Verzögerung und schliesslich eine vollkommene Unfähigkeit der Bewegungsleitung im Nerven, sowie eine steigende Bewegungsunfähigkeit im Muskel ergeben.

Die Beobachtungen WALTHER's lehren, dass das erkaltete Thier, trotzdem dass seine Lebensfunctionen schon vollkommen erloschen scheinen, doch wieder zum Leben zurückgebracht werden kann. Wenn alle spontanen Bewegungen des erfrorenen Thieres (Kaninchen) vorüber sind, wenn das Herz nur noch ganz schwach und selten schlägt oder ganz aufgehört hat sich zusammenzuziehen (bei einer Temperatur des Körpers von + 15 bis 20° C.), tritt zwar von selbst, auch wenn man das Thier künstlich wieder erwärmt, keine Erholung mehr ein. Man kann aber dem Anscheine nach seit 40 Minuten durch Kälte getödtete Thiere wieder vollständig beleben, wenn man, zugleich mit künstlicher Wärmezufuhr von aussen, künstliche Athmung einleitet. Das Gehirn und die Nerven können, nachdem sie so lange gelähmt waren, dadurch wieder belebt werden. KÜHNE hat gezeigt, dass gefrorene Froschmuskeln nach dem Aufthauen noch zuckungsfähig sein können. Die Beobachtung am Suslik ergibt, dass auch bei Warmblütern unter Umständen die Körpertemperatur sich dem Gefrierpunkte des Wassers sehr nähern kann (+ 4° C., ja sogar 2° C., HORVATH), ohne dass dadurch die Lebensfähigkeit gänzlich erlischt. Die winterschlafenden Säugethiere zeigen eine grosse Abhängigkeit ihrer Eigentemperatur von der Lufttemperatur. In den Höhlen der Murmelthiere beträgt letztere im Winter + 3 bis + 5°. Sinkt die Temperatur unter 0°, so erwachen die Thiere und VALENTIN sah, dass bei so niederer Temperatur der Winterschlaf gar nicht eintritt. Er fand den Ueberschuss der Körperwärme über die Luftwärme bei Murmelthieren im Winterschlaf verschieden je nach der Tiefe des Schlafes. Der Temperaturüberschuss betrug im Mittel bei aus dem Winterschlaf erweckten Individuen 28°, bei schlaftrunkenen 18°, bei leisem Schlaf 6°, bei festem Schlaf nur 1°,6. Das Leben wird durch die Kälte zuerst für einige Zeit latent. HORVATH fand wie VALENTIN bei erwachten Thieren eine rasche Temperatursteigerung mit der Steigerung des Stoffwechsels. Derselbe Ziesel, welcher schlafend bei

+ 9° C. (Körpergewicht 152 Gramm) in der Stunde 0,015 CO_2 und 0,014 Wasser abgegeben hatte, steigerte seine Abgaben erwacht auf 0,513 CO_2 und 0,098 Wasser. Bei einem einschlafenden Thier fand er die Körpertemperatur circa 2° niedriger als die Aussentemperatur. Ziesel schlafen normal niemals länger ununterbrochen als 5 Tage.

G. Colasanti hat Hühnereier mehrere Stunden einer Temperatur von — 7 bis — 10° C. ausgesetzt, ohne dass ihre Entwickelungsfähigkeit irgendwie gelitten hätte, obwohl der Eiinhalt durch die Kälte einen vollkommen festen Zustand angenommen hatte.

Wie der thierische Organismus seine Eigentemperatur unter der fortgesetzten Einwirkung einer sehr bedeutenden Kälte nicht behaupten kann, so sehen wir seine Widerstandsfähigkeit **höheren Temperaturgraden der Umgebung** gegenüber ebenfalls nicht unbegrenzt. Obernier sah in seinen Versuchen Säugethiere in einer konstanten äusseren Temperatur von 40° C. schon in 2 bis 4 Stunden sterben, wenn er ihnen weder Wasser noch Nahrung reichte. Er sah dabei zu Anfang des Versuches die Eigentemperatur des Thieres etwas sinken, dann aber ziemlich gleichmässig ansteigen, bis sie 45° erreicht hatte, wobei der Tod eintrat. Dem Tode ging zuerst ein Stadium der Ermattung und Schläfrigkeit voraus, dann folgten Allgemeinkrämpfe, die sich bis zum Tetanus steigern konnten. Der Tod trat unter Schwinden des Bewusstseins (Coma) ein. Es ist wahrscheinlich, dass bei diesem Versuche Obernier's die Thiere sich in einem mit Wasserdampf nahezu gesättigten Raum befanden. de la Roche u. A. (cf. S. 626) haben nämlich schon die Beobachtung gemacht, dass Thiere in einer mit Wasserdämpfen überladenen Luft selbst wärmer werden können als das umgebende Medium und zwar um 2 bis 6° C. Dagegen fanden de la Roche und Berger bei Kaninchen, die sie einer trockenen Temperatur von + 50 bis 90° C. ausgesetzt hatten, nur ein langsames Steigen der Eigenwärme (cfr. S. 639).

Ebenso wie auf den Gesammtorganismus sehen wir die gesteigerte Wärme auch auf die einzelnen Körperorgane von Einfluss. Bei höherer Temperatur sehen wir alle organischen Vorgänge zuerst rascher verlaufen. In den Nerven sehen wir die Leistungsfähigkeit für die Bewegung sowie die Erregbarkeit ansteigen. Höhere Grade der Wärme vernichten aber sehr rasch die Lebenseigenschaft der Gewebe. Die Nerven und Muskeln, Blutkörperchen, Drüsenzellen sehen wir schon bei einer Erhöhung ihrer Temperatur um wenige Grade über die Normaltemperatur des Körpers plötzlich absterben, in Wärmestarre verfallen, welche auf einer Gerinnung eines Theiles der in dem Gewebssafte gelösten Eiweisssubstanzen (Myosin z. B.) beruht. Bei Kaltblütern tritt diese Gerinnung und in deren Gefolge der Tod des Gewebes schon bei + 40° C. ein, bei Säugethieren und dem Menschen zwischen + 49° und 50° C., bei Vögeln erst bei + 53° C. (Kühne). Das Protoplasma der Pflanzenzellen wird bei + 46 bis 47° C. wärmestarr; das der Polythalamien und Amoeben schon bei 42 bis 43° (M. Schultze). Degegen beobachtete Hoppe-Seyler in den Thermen der Euganeen und auf Lipari lebende grüne Algen im Wasser bei einer Temperatur von + 53° C. In den schwefelfreien Fumarolen bei Ischia fand derselbe Algen in einer mit Wasserdampf erfüllten Atmosphäre leben bei + 60° C. Uebrigens sind die Temperaturdifferenzen zwischen den höheren (heisseren) und den tieferen (kälteren) Schichten der von den Thermen abfliessenden Wasser oft sehr bedeutend. Hoppe-Seyler mass in einem Falle oben + 44 bis 45°, unten nur + 25°, in der tieferen Wasserschicht tummelten sich zahlreiche Fische, welche, in die oberen Schichten gebracht, sofort starben.

Die Körperwärme der Säugethiere liegt zwischen 36 bis 40° C., die der Vogel zwischen 40 bis 43° C. Die kaltblütigen oder nach Bergmann wechselwarmen Thiere (die Warmblüter sind die gleichwarmen Thiere) zeigen bei verschiedenen äusseren Temperatureinflüssen verschiedene Temperaturen. Im Allgemeinen sind sie bei äusserer niederer Temperatur höher, bei äusserer hoher Temperatur niedriger temperirt als das Medium, in dem sie sich befinden, obwohl auch bei ihnen die Wärmebildung auf dem Stoffumsatz beruht. Der Frosch ist bei + 15° um 0,3 bis 0,7°, bei 6° um 1 bis 2° wärmer als das umgebende Wasser (Duméril). Nach einem einstündigen Aufenthalt in einer Luft von + 45° be-

trug seine Temperatur nach HUNTER 27°. Hier schützt die Verdunstung an der feuchten Haut vor übermässiger Erwärmung, dem Schwitzen (cf. unten) analog.

Die Körpertemperatur des Menschen (cf. bei Athmung S. 534).

Wenn auch im Allgemeinen die Temperatur des menschlichen Organismus eine konstante genannt werden kann, so setzt sich doch auch dieses Gleichbleiben einer organischen Function aus regelmässigen Auf- und Abwärtsschwankungen zusammen. Es müssen sich selbstverständlich in der Wärme des Körpers, die wir im letzten Grund als ein Produkt der Intensität der Oxydationsvorgänge im Organismus kennen gelernt haben (cf. bei Athmung S. 535), alle jene vielfältigen Schwankungen zu erkennen geben, die wir im Gesammtorganismus je nach seinen veränderlichen Allgemeinzuständen, vor Allem je nach der Nahrungsaufnahme kennen gelernt haben, oder die sich in den einzelnen Organen entsprechend den Verschiedenheiten in ihrer Lebensthätigkeit ergeben.

Bei allen bisher betrachteten Lebensvorgängen zeigte sich an dem gleichen Individuum ein unablässiges Schwanken, ein Ansteigen und Absinken zum Beweise, dass im Organismus zu verschiedenen, nahe nebeneinander liegenden Zeiten, z. B. schon im Laufe eines Tages die inneren Bedingungen seiner organischen Verbrennung und Stoffumsetzung vielfältig wechseln. Die Sauerstoffaufnahme, die Kohlensäure- und Harnstoffausscheidung, die Gallebildung, die Bildung der übrigen Verdauungssekrete, die Muskelthätigkeit im Schlaf und Wachen, ebenso die Gehirnthätigkeit etc. sehen wir niemals gleichbleiben, sondern in mehr oder weniger ausgesprochener Regelmässigkeit während der Tageszeiten in ihrer Intensität auf- und abwärts schwanken. Nur theilweise sind diese Schwankungen von der zu bestimmten Zeiten erfolgenden Nahrungsaufnahme abhängig, die Beobachtungen bei Individuen, denen während der Beobachtungszeit keine Nahrung gereicht wurde, zeigen auf das Deutlichste, dass ein analoges Wechseln auch von dieser stark wirkenden Ursache unabhängig, aus im Organismus selbst gelegenen Ursachen, regelmässig eintritt. Diese Tagesschwankungen in der Intensität der Lebensvorgänge bilden eine Analogie zu den in grösseren Zeiträumen verlaufenden thierischen Lebensperioden: Winter- und Sommerschlaf, Menstruation, Brunst, Haar- und Federwechsel etc. Alle diese Verschiedenheiten hängen auf das Innigste mit der verschiedenen Stärke der Verbrennungs- (Zersetzungs-) Vorgänge im lebenden Organismus zusammen. Den weit überwiegend grössten Theil der bei diesen chemischen Vorgängen frei werdenden Kräfte sahen wir als Wärme auftreten: die thierische Wärme wird also ähnliche Schwankungen wie jene erkennen lassen.

Wir haben die verschiedenen Lebensalter als Repräsentanten verschiedener allgemeiner Zustände des Körpers, vor allem charakterisirt durch den Verlauf seines Stoffwechsels, kennen gelernt. BÄRENSPRUNG's thermometrische Messungen zeigen uns analoge Verhältnisse bei den verschiedenen Lebensaltern, wie wir sie auch in Beziehung auf die Ernährungszustände derselben, auf ihre Athmung, Organthätigkeit etc. gefunden haben. Wir sehen auch hier das Greisenalter wieder zu kindlichen Verhältnissen zurückkehren. Nach BÄREN-

SPRUNG beträgt die Mitteltemperatur aus vielfältigen Messungen in den Körperhöhlen während der verschiedenen Lebensalter:

beim Neugebornen.	37,81
5— 9 Jahre alt:	37,72
12—20 -	37,37
21—24 -	37,22
25—30 -	36,91
31—40 -	37,10
41—50 -	36,87
51—60 -	36,83
80 -	37,46

Die Temperaturen bei verschiedenen Nahrungsweisen sind noch nicht näher untersucht, doch ergaben die vorhandenen Bestimmungen deutlich eine Steigerung der Temperatur mit der Nahrungsaufnahme überhaupt, wie sie die damit gesteigerten chemischen Umsetzungen im Organismus erwarten liessen. Auch hierfür mag aus vielen Beispielen eine Bestimmung von BÄRENSPRUNG angeführt werden:

Um	5—7	Uhr	Morgens im Bett	betrug seine Temperatur	36,68° C.
-	7—9	-	(Kaffee)	-	37,16 -
-	9—11	-	—	-	37,26 -
-	11—1	-	—	-	36,87 -
-	1—2	-	—	-	36,83 -
-	2—4	-	(Mittagessen)	-	37,15 -
-	4—6	-	—	-	37,48 -
-	6—8	-	—	-	37,43 -
-	8—10	-	(Abendessen)	-	37,02 -
-	10—12	-	—	-	36,85 -
-	12—2	-	aus dem Schlafe geweckt	-	36,65 -
-	2—5	-	—	-	36,31 -

Die Tabelle zeigt die Temperatur nach dem Mittagessen während der Verdauungsperiode am höchsten. Wie nach dem Mittagessen findet sich dieses Ansteigen der Temperatur auch nach dem Frühstück. Bei dem (leichten) Abendessen lässt sich keine neue Ansteigung erkennen. Es rührt das daher, dass gegen den Abend aus inneren Gründen die Temperatur des Körpers so bedeutend sinkt, dass eine durch das Essen gesetzte Steigerung durch das überwiegende Absinken der Temperatur aus den inneren Ursachen verdeckt wird. Nach meinen Beobachtungen, welche älteren entsprechen, ist die Temperatur ohne Nahrungsaufnahme während der Abendstunden am niedrigsten. LICHTENFELS und FRÖHLICH sahen zwei leichte Erhebungen der Temperatur des Körpers trotz Nahrungsenthaltung eintreten, die erste 11 Stunden, die andere 19 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme. Es scheint wahrscheinlich, dass der Organismus, durch regelmässige Einhaltung der Essenszeiten an eine regelmässige Thätigkeit gewöhnt, diese auch bei Nahrungsenthaltung in der ersten Zeit nicht verändert. Meine Beobachtungen am hungernden Menschen ergaben am zweiten Hungertage die Hauptsteigerung der Temperatur auch auf 3 Uhr Nachmittags, wohin sie bei BÄRENSPRUNG in Folge der gebräuchlichen Mittagessenszeit in Deutschland fällt.

Wenn schon aus diesen Beobachtungen sich ergibt, dass durch Nahrungsaufnahme, und zwar in Folge der durch sie gesetzten Steigerung der Drüsenthätigkeit und damit der Oxydation, die Körpertemperatur erhöht werden kann, so ergeben die Bestimmungen an hungernden Thieren das gleiche Resultat von der entgegengesetzten Seite. Durch Nahrungsentziehung wird die Temperatur des hungernden Körpers erniedrigt. Nach Lichtenfels und Fröhlich sinkt die mittlere Temperatur des Menschen bei Nahrungsenthaltung von kürzerer Dauer auf 36.60 ° C., während sie bei normaler Nahrungsaufnahme dafür 37.17 ° C. gefunden hatten. Chossat und Schmidt fanden bei verhungernden Thieren, dass sich etwa vom zweiten Tage an die nur wenig gesunkene Temperatur konstant erhält, erst gegen den Todestag sinkt sie stärker ab. Eine verhungerte Katze starb mit einer Temperatur von 33 ° C. (Schmidt); ihre Normaltemperatur hatte zwischen 38 und 39 ° C. betragen.

An diese physiologischen Schwankungen der Temperatur schliessen sich Veränderungen der Körperwärme in Krankheiten an. Wir sehen in Fieberanfällen die Körpertemperatur ansteigen bis ziemlich weit über die normale Grenze; die höchste am Menschen beobachtete Fiebertemperatur scheint 44.5 ° C. Es wird von den besten Beobachtern angenommen, dass diese gesteigerte Körpertemperatur mit gesteigerten Oxydationen und vermehrtem Verbrauch von Körperstoff im Fieber Hand in Hand gehe. Man kann im Fieber eine gesteigerte Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe sowie Harnstoff nachweisen (S. 538 und unten). Bei starker Herabsetzung der organischen Thätigkeiten, wie sie bei fortgesetzten Schwächezuständen vorhanden zu sein pflegen, am auffallendsten gegen den Eintritt des Erschöpfungstodes, sehen wir die Temperatur bedeutend absinken. Bei Cholera sinkt die Temperatur in der Achselhöhle auf 26.6 ° C. Die eben angeführten Temperaturextreme, 44.5 ° C. bei Fieber und 26.6 ° C. bei Cholera, scheinen mit der Erhaltung des Lebens unverträglich zu sein. Danach liegt die Grenze nach abwärts beim Menschen höher als bei Säugethieren, namentlich bei Kaninchen (und Winterschläfern). Vögel, deren Wärme normal etwas höher ist als die der Säugethiere, sterben, wenn ihre Eigentemperatur auf 26 ° C. gesunken ist.

An der Hervorbringung der Körpertemperatur betheiligen sich die einzelnen Organe je nach dem Grade ihrer Thätigkeit. Gesteigerte Nerventhätigkeit durch geistige Beschäftigung steigert nach J. Davy die Körpertemperatur um etwa 0.3 ° C., dauernde Muskelanstrengung hebt sie nach demselben Autor um 0.7 ° C. Forel, E. Calberla fanden beim Bergsteigen eine Erhöhung der Temperatur um 0.2 bis 0.5 ° C. im Rectum und der Achselhöhle. Ziemssen zeigte, dass der Grund für die im letzten Falle gesteigerte Wärme in den Muskeln selbst zu suchen sei. Auch einige Zeit nach dem Sistiren der Bewegung der Muskeln geht die Erwärmung noch fort, wie sich durch Temperaturerhöhung der über den Muskeln liegenden Hautstellen bis um 4 ° C. zu erkennen gibt. Gelähmte Glieder, deren Muskeln in Unthätigkeit verharren, zeigen eine niedrigere Temperatur als die analogen nicht gelähmten desselben Körpers. Durch electrische Reizung kann in ersteren die Temperatur der normalen angenähert werden. Die Temperaturzunahme durch Muskelaktion entsteht sehr rasch.

Abgesehen von den allgemeinen Wärmeschwankungen des Körpers durch die wechselnde Intensität der Organthätigkeit, zeigen auch die verschiedenen

Körpertheile, äusserliche und innerliche, keine gleiche Temperatur. Es rührt dies hauptsächlich von der Verschiedenheit der Blutzufuhr und von der damit verbundenen Verschiedenheit in der Grösse der Zersetzungsvorgänge bei verschiedenen Organen her. In dem Bindegewebe sehen wir die Lebensvorgänge weniger lebhaft verlaufen als in dem Drüsen-, Muskel- und Nervengewebe. Wir müssen daraus erwarten, dass z. B. die aus Bindegewebe vor Allem bestehende Haut normal etwas weniger hoch temperirt sein müsse als jene bevorzugteren Organe. Die definitive Entscheidung dieser Frage wird dadurch unmöglich, dass auf der Hautoberfläche eine starke, beständige Abkühlung stattfindet, welche für sich die Hauttemperatur herabsetzt. Das Bindegewebe der Haut fanden Becquerel und Brechet um 2,1° C. weniger warm als die Körpermuskulatur. Die Baucheingeweide, namentlich die Leber, zeigen eine höhere Temperatur als Lungen und Gehirn. Die Temperaturmessungen in der Achselgrube geben um 0,25 bis 0,5° C. niedrigere Werthe als die unter der Zunge in der geschlossenen Mundhöhle. Scheide, Mastdarm, Blase sind um etwa 1° C. wärmer als die Achselgrube.

Das Blut, in welchem selbst nur eine sehr geringfügige Wärmeproduktion stattfindet, hat aber die wichtige Aufgabe, die verschiedenen Temperaturen der einzelnen Organe, indem es bei der Circulation in den höher temperirten Wärme aufnimmt und in den weniger warmen Wärme abgibt, auszugleichen. Auf diese Weise wird die Blutcirculation zum Regulator der thierischen Wärme.

Das Blut besitzt in verschiedenen Gefässen eine verschiedene Temperatur. v. Bischoff, G. v. Liebig, Cl. Bernard, Ludwig u. A. haben dafür die experimentellen Beweise geliefert. In den Hautvenen ist das Blut kälter als in den Hautarterien, da es in ersteren einen Theil seiner Wärme an die Haut abgegeben hat. Dagegen steigt die Temperatur des Blutes, während dasselbe die Drüsen: die Nieren, Leber, Speicheldrüsen, oder die Muskeln durchsetzt, am deutlichsten bei erhöhter Thätigkeit dieser Organgruppen. Die Vena cava superior, welche das Blut aus Theilen des Körpers zurückbringt, welche der Abkühlung vor Allem ausgesetzt sind, zeigt sich etwas kühler als das Blut der Vena cava inferior, welche das Blut namentlich aus den arbeitenden grossen Drüsen dem Herzen zuführt. Das Blut des rechten Ventrikels ist meist wärmer als das des linken, welches nach Durchsetzung der Lunge eine Abkühlung erfahren hat (cf. S. 547). Stets sind aber die gemessenen Unterschiede in der Bluttemperatur, wie sich aus der grossen Geschwindigkeit der Blutbewegung von selbst erwarten lässt, nur gering.

H. Kronecker und M. Ph. Meyer construirten verschluckbare kugelförmige Maximalthermometer, sowie cylinderförmige, welche geeignet sind, im Blutgefässsystem lebender Thiere zu cirkuliren: Schwemmthermometer. Damit beobachteten sie (an Hunden), dass die mittlere Temperatur im Magen um etwa 0,5° niedriger ist als im Rectum. Durch Nahrungsaufnahme steigt im Magen, aber auch ziemlich gleichzeitig im Rectum, die Temperatur um etwa 1,3°, dasselbe bewirken chemische, mechanische und psychische (?) Reize. Am ersten Hungertag sinkt die Magentemperatur, hebt sich aber später wieder. Die niedrigste Bluttemperatur innerer Theile ergab die Vena azygos 37,7°, gleichzeitig die Vena renalis 38,2°, rechter Herzventrikel 38,3°, mittlerer rechter Lungenlappen resp. Pulmonalarterie 38,4°, Magen des 24 Stunden hungernden Thieres 38,6°, Rectum 39,5°.

Die Wärmeregulirung des Organismus.

Wie verhält sich der Organismus gegenüber verschiedenen äusseren Einwirkungen auf seine Körpertemperatur? Wodurch ist der Organismus des Warmblüters befähigt, seine Eigentemperatur bei relativ sehr verschiedenen Aussentemperaturen in den angegebenen Grenzen annähernd konstant zu erhalten? Eine wirklich konstante Temperatur besitzt der Organismus nicht.

Wir haben gesehen, dass in extremen Fällen die Wärmeregulirungseinrichtungen des Organismus nicht im Stande sind den äusseren Einflüssen auf die Dauer einen ausreichenden Widerstand entgegenzusetzen. Auch geringere Grade der Einwirkung jener Agentien sehen wir nicht spurlos an dem Körper vorübergehen. So zeigt sich, dass ein Aufenthalt in heissen Klimaten mit einer erkennbaren Steigerung bis zu 1° C. der Mitteltemperatur verknüpft ist bei Individuen, welche in einem kälteren Klima zu wohnen gewöhnt sind (J. Davy, Brown-Séquard). Die Körpertemperatur sinkt bei stundenlangem Aufenthalt in der Kälte, besonders wenn derselbe mit gezwungener Körperruhe verbunden ist (z. B. in der Kirche im Winter), etwa um 1° C. (J. Davy). Alle die beobachteten Schwankungen halten sich aber in verhältnissmässig engen Grenzen, welche nur verständlich werden, wenn Regulirungseinrichtungen der Temperatur fort und fort, den äusseren Einwirkungen entsprechend, thätig werden. Ein Theil dieser Regulirung wird von uns willkürlich und mit Absicht in Thätigkeit gesetzt (Muskelbewegung, Kleiderwechsel, Heizung, kalte Bäder, kalte Speisen etc.). Ein anderer Theil erfolgt ohne unseren Willen, vor Allem reflectorisch.

Pflüger's u. A. Versuche (cf. Athmung S. 534) beweisen, dass gesteigerter Wärmeverlust des Organismus, wodurch dessen Normaltemperatur herabgesetzt zu werden droht, durch gesteigerte Thätigkeit der wärmeerzeugenden Organe, Steigerung des Wärme producirenden Stoffwechsels, ausgeglichen, ja übercompensirt werden kann. Ausserdem aber wirken noch eine Reihe anderer Momente für die Wärmeregulirung mit.

Der Körper kann Wärme verlieren: durch Leitung, Strahlung und Verdunstung.

Die Körperwärme abführenden Organe, deren Thätigkeit sich je nach dem Bedürfniss des Körpers modificirt, sind vor Allem die Haut und die Lungen. Durch Leitung können beide Organe entsprechend ihrer Oberfläche Wärme an das umgebende Medium, Luft oder Wasser, abgeben. Das Wärmeleitungsvermögen der Luft ist sehr gering, das des Wassers viel besser. Je dünner bei dem Menschen an einer Hautstelle die Epidermis, welche die Wärme schlecht leitet, je weniger erstere behaart ist, um so stärker wird von ihr der Wärmeabfluss durch Leitung sein können, wenn wir sie unbekleidet beobachten. Ein anderer viel wesentlicherer Faktor ist die Ausdehnung und Füllung der Blutgefässe in der Haut. Auch die Gestalt der Organe ist nicht gleichgültig für den Wärmeverlust. Uebereinstimmend mit der Erfahrung, dass die Wärmestrahlung und Leitung aus schmalen, spitzigen Körpern mit relativ grosser Oberfläche leichter stattfindet, sehen wir die Nasenspitze, Ohren, Finger und überhaupt die Extremitäten sich leichter und rascher abkühlen als den Rumpf. Am mächtigsten wirkt

die Verdunstung auf den Wärmeabfluss. Bei einer schwitzenden Haut tritt in trockener, bewegter Luft ein Maximum der Wasserverdunstung und also auch des Wärmeverlustes ein. Die Abkühlung in den Lungen nimmt, da die Temperatur in der ausgeathmeten Luft mit der rascheren Athemfolge nicht nennenswerth sinkt, mit der Zahl und dem Umfang der Athemzüge direct zu; ebenso mit zunehmender Geschwindigkeit des Blutstromes in den Lungen.

Je nach der Verschiedenheit der Fälle sehen wir die genannten Regulatoren in entsprechendem, verschiedenem Grade in Wirksamkeit treten. Eine Vermehrung der äusseren Temperatur bringt zuerst eine Erweiterung der Blutgefässe in der Haut hervor. Das reichlicher aus den inneren wärmeren Organen zugeführte Blut steigert die Temperatur der Haut, welche dann durch Strahlung und Leitung eine bedeutendere Wärmemenge abgeben kann. Die erhöhte Flüssigkeitsmenge in dem Hautgewebe, welche der gesteigerten Blutzufuhr entspricht (Turgor), erhöht auch die Verdunstung. Bei noch höheren äusseren Wärmegraden sehen wir endlich Schweissbildung eintreten und damit durch gesteigerte Verdunstung den Wärmeabfluss so bedeutend gesteigert, dass sich der Körper selbst sehr hohen Temperaturen, so lange er schwitzen kann (so lange die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt ist und die Hautthätigkeit nicht sistirt), anzupassen vermag. Blagden und Andere nach ihm hielten es mehrere Minuten in einer trockenen Wärme von + 79° C. aus, A. Berger und de la Roche 8 bis 16 Minuten bei 100° bis + 127° C. Blagden sah dabei seine Temperatur nur um 1° C. steigen. Bei Kaninchen beobachtete man ebenfalls in einer trockenen Wärme von 50° bis 90° C. nur eine Steigerung der Temperatur um wenige Grade (cfr. S. 633).

Unter Umständen können die angeführten Wärmeregulatoren »gelähmt« sein, so dass sie unzweckmässig, zu stark oder zu schwach wirken. Auf Durchschneidung des Rückenmarkes am Halse sinkt die Körpertemperatur, wir sehen die Thiere fortleben, aber gleichsam kaltblütig geworden. Durchschneidung des Sympathicus am Halse oder an den Lendenwirbeln bewirkt ebenfalls eine (geringe) Herabsetzung der Körperwärme, um so bedeutender, je umfangreicher der durch die Durchschneidung gelähmte Gefässbezirk. Die Experimente von Pflüger, Voit u. A. (cf. Athmung S. 534) beweisen, dass hierbei auch eine Verminderung der Wärme producirenden Processe im Körper eintritt. Ein weiterer Grund der Temperaturerniedrigung liegt in einer durch die Rückenmarksdurchschneidung gesetzten Erweiterung der peripherischen Blutgefässe, wodurch eine gesteigerte Hauttemperatur und dadurch gesteigerter Wärmeabfluss gesetzt wird. Solche Thiere leisten jeder Abkühlung nur einen geringen Widerstand. Setzt man künstlich ihren Wärmeabfluss durch Einhüllung z. B. herab, so sieht man sie nicht mehr kälter, sondern die Hauttemperatur dem gesteigerten Blutzufluss entsprechend wärmer werden (Tscheschichin). Beschleunigung der Circulation im ganzen oder namentlich in den peripherischen Organen steigert den Wärmeabfluss des Körpers. Auch künstliche, gesteigerte Athmung kann (an curaresirten Thieren) die Temperatur herabsetzen (Ackermann, Riegel). Ebenso kalte Wassereinspritzungen in das Rectum.

Aehnlich wie in den vorliegenden Fällen, in welchen die Differenz zwischen der Temperatur des umgebenden Mediums und der Wärme abgebenden Oberfläche gesteigert und dadurch der Wärmeabfluss proportional gemehrt wurde.

kann offenbar das Sinken der Temperatur auch auf einer vorübergehenden oder dauernden Verbesserung des Wärmeleitungsvermögens der Organe beruhen. Das Leitungsvermögen des Wassers wird durch Auflösung von Salzen in ihm verbessert, wie schon die Versuche von TRAILL ergaben. Mit der krankhaften oder physiologischen stärkeren Concentrirung der thierischen Flüssigkeiten kann also wohl das Wärmeleitungsvermögen ebenso steigen, wie ich das für das galvanische Leitungsvermögen derselben beweisen konnte. Die Beobachtungen am Winterschläfer im Vergleich mit anderen Thieren zeigen deutlich, dass es sich bei den sich hier ergebenden Unterschieden im Widerstande gegen die Kälte vor Allem um besseres Leitungsvermögen der Organe für Wärme handeln müsse. Sicher sind hierin die Thierarten und auch einzelne Individuen derselben Species sehr verschieden. Die Zugvögel und Wanderthiere können wohl der Abkühlung nicht genügend trotzen. Nach den Messungen PARRY's betrug dagegen die Wärme arktischer Thiere bei einer Temperatur der Luft von —30° immer noch +35 bis 40° C.

MANTEGAZZA beobachtete Temperaturerniedrigung im Innern des Körpers bei schmerzhafter sensibler Reizung. HEIDENHAIN glaubt, dass diese Temperaturabnahme durch reflectorische Reizung des vasomotorischen Centrums und Beschleunigung der Blutcirculation zu Stande komme, doch war das Resultat bei starker directer electrischer Reizung des Rückenmarks selbst inkonstant.

Aerztliche und hygieinische Bemerkungen. — Das gesteigerte Abkühlungsvermögen, welches wir durch gewisse Gifte eintreten sehen: Alkohol, Morphium, Digitalis, Nicotin, Curare, sowie durch gesteigerte Muskelaktion (A. WALTHER), beruht zum Theil auf analogen Veränderungen der Gefässlumina wie nach Rückenmarks- oder Gefässnervendurchschneidung. Das Nicotin (Tabak) erweitert, wenn nicht heftige Krämpfe durch dasselbe hervorgerufen werden, die peripherischen Gefässe. Aehnlich wirken Vergiftung mit Curare und Alkohol. Besonders die letztere Thatsache ist wichtig, da der Volksaberglaube dem Branntwein im Gegensatz zu den beobachteten Wirkungen eine wärmende Eigenschaft zuerkennt. Anstatt seine Wohnung zu heizen, trinkt der Arme Branntwein. Die Steigerung der Wärme im subjectiven Gefühle beruht auf einer durch den Alkohol gesetzten Gefässerweiterung, welche den frierenden Theilen für den Augenblick mehr Wärme zuführt, im Ganzen aber die im Körper vorhandene Wärme übermässig rasch verbraucht. Alkohol wird also nur gut und warm gekleidete, gut genährte Individuen dauernd zu erwärmen vermögen. Die Todesfälle durch Erfrieren im Winter beziehen sich dagegen zur übergrossen Mehrzahl auf mangelhaft gekleidete Betrunkene. Nach C. BOUVIER u. A. ist Alkohol im Fieber ein Temperatur herabsetzendes Mittel. Er wirkt auch hemmend auf die postmortale Temperatursteigerung (cf. diese). PARKES constatirte, dass bei vollkommen gesunden Männern Alkohol (Cognak) in mässigen Gaben bei Ruhe und nüchternem Magen die Temperatur im Rectum 1 bis 3 Stunden nach der Aufnahme herabsetzt. Ein analoges Urtheil ist über ein anderes Volksmittel, sich in strenger Kälte zu erwärmen, abzugeben: die Muskelbewegung. Auch für sie fand WALTHER, dass sie die Wärmeabgabe erleichterte, und zwar aus demselben Grunde wie der Alkohol. W. WINTERNITZ hat in einem sinnreichen Apparate die Schwankungen der Wärmeabgabe an der Haut je nach dem Blutreichthum derselben bestimmt. Bei Gliedern, künstlich nach der Methode von ESMARCH blutleer gemacht, war die Wärmeabgabe bis zu 25,6% geringer als bei normal durchströmten; mechanisch oder durch Senfspiritus erzeugte Hauthyperämien lassen die Wärmeabgabe um 92,45% ansteigen. Im Fieber fand er die Wärmeabgabe 8,4% vermindert.

Das grösste Gewicht in der Reihe der abkühlenden Momente legt WALTHER auf die Steigerung der Circulation. Wir sehen in Folge gesteigerter Wärme des Körpers

stets auch eine Ansteigung der Pulsfrequenz eintreten. Die täglichen Wärmeschwankungen gehen den täglichen analogen Pulsschwankungen etwas voran. LIEBERMEISTER hat erwiesen, dass mit der krankhaft gesteigerten Temperatur im Fieber in entsprechender Weise der Puls ansteige. Auch hier lasst sich oft die Temperatursteigerung als das Primäre erkennen. LIEBERMEISTER fand

bei den Temperaturen:

37°; 37,5°; 38°; 38,5°; 39°; 39,5°; 40; 40,5°; 41°; 41,5°; 42°.

die mittlere Pulszahl:

78,6; 94,1; 91,2; 94,7; 99,8; 102,5; 108,5; 109,4; 110; 118,6; 137,5.

WALTHER fand, dass die Schnelligkeit der Abkühlung in geradem Verhältniss steht zur Frequenz des Herzschlages. Wir haben also in der Veränderung, welche die Herzschlagfrequenz durch die Verschiedenheiten der Temperatur erleidet: Beschleunigung durch die Wärme, Herabsetzung durch die Kälte, einen wichtigen Wärmeregulator. Analog wirkt vermehrte und verminderte Athemfrequenz.

Die Wärmeabgabe durch Leitung nimmt im directen Verhältnisse mit dem Temperaturunterschiede der sich berührenden, verschieden warmen Körper zu und ab. Für Regulirung der Körperwärme gegen Abkühlung wird, abgesehen von Steigerung der Wärme producirenden Processe durch Kälte (PFLÜGER u. A. cf. S. 229 ff.), zuerst und vor Allem die Oberflächentemperatur der Haut herabgesetzt dadurch, dass sich auf den Kältereiz die Hautgefässe contrahiren und in Folge davon in der Zeiteinheit eine geringere Blutmenge durch sich hindurchtreten lassen. Der Haut wird dadurch weniger Wärme zugeführt, sie wird kühler, die Wärmeabgabe wird dadurch verlangsamt. In exakter Weise haben diese verschiedene Wärmeabgabe der Haut, je nach ihrer Blutfüllung, zuerst WINTERNITZ und dann mittelst thermoelectrischer Messungen CHRISTIANI und KRONECKER bewiesen. Dadurch, dass die Wärmeabgabe verlangsamt wird, kann unter Umständen der durch die gesteigerte Abkühlung an sich gesetzte gesteigerte Wärmeverlust für den Gesammtkörper überkompensirt werden. LIEBERMEISTER fand, dass durch ein kaltes Sturzbad, Ausziehen der Kleider in kalter Luft und analoge Einflüsse, die Temperatur in der Achselhöhle steigt. Analoge Beobachtungen machte PFLÜGER an Thieren (S. 229 ff.). In Folge dieser durch die äussere Kälte im Organismus gesetzten Temperatursteigerung müssen alle Organthätigkeiten und Zersetzungen in ihm an Intensität zunehmen, da wir ja wissen, dass eine mässig gesteigerte Temperatur diesen Erfolg besitzt. Die Verengerung der Hautgefässe und die gesetzte Aufspeicherung von Wärme im Inneren des Körpers bedingt also nicht nur eine Verringerung des Wärmeverlustes, sondern auch eine Steigerung des Stoffumsatzes in den vor Allem Wärme erzeugenden Organen, die auch in der vermehrten Blutzufuhr entsprechend mehr Oxydationsmaterial erhalten.

TSCHESCHICHIN fand, dass nach Durchschneidung des Gehirnes zwischen Pons und Medulla oblongata eine beträchtliche Temperaturerhöhung des Körpers eintrat, wenn man die operirten Thiere vor Abkühlung schützte, im entgegengesetzten Falle Temperaturerniedrigung. J. SCHREITER bestätigt diese Beobachtung für Verletzungen des Kleinhirns, der Pedunculi cerebri, der Marklager des Grosshirns. Die Verletzung einer zwischen Medulla oblongata und Pons gelegenen bestimmten Stelle lasse dagegen die Temperatur des Versuchs-

thieres steigern, auch wenn es nicht vor Abkühlung geschützt wird. Tscheschichin vermuthet, dass für die gefässverengernden Centra sich im Gehirn ein Moderationscentrum befinde, mit dessen Lähmung die Erwärmung des Blutes durch verminderten Wärmeabfluss erfolgt.

Ist die Wirkung der Kälte so bedeutend, dass eine wirkliche Herabsetzung der Körpertemperatur erfolgt, so tritt nun als weiterer Regulator die Verlangsamung des Herzschlages und der Athemfrequenz ein. Auch die in Folge der Kälte gesetzte Bewegungsverminderung wirkt im Principe wärmeerhaltend (cf. dagegen S. 643). Walther hat gezeigt, dass todte Thiere sich sehr viel weniger rasch abkühlen unter denselben Umständen als lebende, was er auf den vollkommenen Bewegungsmangel schiebt. Es muss hier aber auch an die postmortale Temperatursteigerung der Leiche erinnert werden, welche durch die eintretende Starre in den Geweben (Myosingerinnung) und die Blutgerinnung hervorgerufen wird. In der Kälte sehen wir reflectorisch den Körper seine abkühlende Oberfläche möglichst verkleinern, sich zusammenkauern, um auch dadurch den Wärmeabfluss zu verringern. Je kleiner relativ die Oberfläche, desto geringer ist natürlich der Wärmeverlust; grössere Organismen, welche im Verhältniss eine kleinere Körperoberfläche besitzen als kleinere, erkalten weniger leicht als letztere. Bei Säuglingen und Kindern kommen zu diesem Momente noch andere den Wärmeabfluss sehr begünstigende hinzu, unter denen ich hier an die hohe Athem- und Herzfrequenz erinnern will.

Die Erkaltung wird bei jedem Individuum um so rascheren Erfolg haben, je geringer die Summe von Wärme ist, die der Körper in sich trägt. Wir haben es hier sicher mit einer Folge der Ernährungsweise und also mit einem Effect der wechselnden Körperzustände zu thun. Wir werden in der nächsten Folge sehen, dass je nach der Nahrung die im Körper befindliche Wärmemenge sehr wechselnd ist. Da die verschiedenen Lebensalter, Geschlechter, Armuth und Reichthum etc. derartig verschiedene Körperzustände repräsentiren, so ist es wohl verständlich, warum Arme, Kinder, Greise, Frauen, Rekonvalescenten mehr frieren als robust genährte Männer. Jeder Wärmeverlust repräsentirt bei den ersteren einen viel grösseren Bruchtheil der Gesammtwärmequantität als bei den letzteren. Walther's kalorimetrische Versuche lehren direct, dass die Wärmemenge in verschiedenen Individuen derselben Thierspecies sehr schwankend sein könne. Bei dem Winterschläfer, welcher der Kälte so gut zu trotzen vermag, ergab sich stets eine höhere Wärmemenge als bei den Kaninchen.

Brown-Séquard, Tholozan Lombard haben entdeckt, dass bei Eintauchen einer Extremität in kaltes Wasser, aber auch bei Einwirkung anderer Reize, die Temperatur der anderen Extremität, durch reflectorische Gefässcontraction (Putnam), sinkt. Reizt man ein Kaninchenohr, so fällt zuerst am anderen Ohr die Temperatur, später steigt sie wieder.

Die Einwirkung peripherischer Abkühlung hat nach übereinstimmender Angabe der Beobachter (Senator, Riegel u. A.) eine Aenderung in der Wärmevertheilung des Organismus zur Folge. Nach lokalen oder allgemeinen Wärmeentziehungen sinkt bei Thieren die Blutwärme (in der V. cava inf. und Aorta thorac.) entweder sofort, oder nach einer kurz dauernden geringen Erhöhung. Langsamer erfolgt der Temperaturabfall in den Körperhöhlen (Rectum, Vagina) und namentlich in den Muskelschichten, was sich aus der bekannten Veränderung der Circulation durch die Kälte erklärt.

Die Muskelthätigkeit spielt (ADAMKIEWITZ) für die Constanterhaltung der Körpertemperatur eine hohe Rolle. Vermindert man die Muskelbewegung z. B. durch Fesseln der Thiere, so sinkt die Temperatur ab. Die Temperatur der thätigen Muskeln ist im lebenden Organismus eine relativ sehr hohe. Da sie die Höhlen des Körpers umschliessen, so kann die Wärme aus letzteren nur dann durch die Muskeln abfliessen, wenn sie zur hohen Temperatur der Muskeln ansteigt. Daraus folgt, dass, wie die Beobachtung lehrt, die Körpertemperatur von Innen heraus bis zur Grenze der Muskelschichten nur langsam, während in der äusseren Zone des Körpers: Unterhautzellgewebe, Haut, die Temperatur sehr schnell abfällt. — An den Temperaturschwankungen der Umgebung nehmen vorwiegend nur diese äusseren Schichten theil.

Wärmeleitung der Haut. Nach den Beobachtungen von F. KLOTZ und ADAMKIEWITZ leitet die Haut der grossen Körperflächen die Wärme in allen Richtungen gleichmässig, anders die Haut der Extremitäten. Das Fettgewebe setzt die Wärmeleitungsfähigkeit der Haut beträchtlich herab. Die Lederhaut leitet die Wärme um so schlechter, je dicker sie ist, die Epidermis ist ein ausserordentlich schlechter Wärmeleiter. Die Muskeln leiten die Wärme schlechter ? als Wasser.

Die Wärmemenge des Organismus und ihr Verbrauch.

Nach den FRANKLAND'schen Bestimmungen der Verbrennungswärme der Nahrungsmittel (S. 110) können wir aus den Beobachtungen über den Gesammtstoffwechsel die von dem Menschen in einer bestimmten Zeit gelieferte Wärmemenge annähernd berechnen. Ich wähle aus meinen Stoffwechselversuchen am Menschen (cf. S. 216 f.) drei Beispiele heraus, um die Verschiedenheiten der Wärmeerzeugung je nach der verschiedenen Ernährungsweise anschaulich zu machen.

I. Wärmeproduktion am ersten Hungertage beginnt 23 Stunden nach der letzten Nahrungsaufnahme. Die Einnahmen aus dem Körper nach den Ausgaben berechnet.)

Einnahmen:		Ausgaben:
54,45 Albumin	vom Körper geliefert.	18,3 Harnstoff.
195,94 Fett		0,24 Harnsäure.

Daraus berechnet sich eine tägliche Wärmeproduktion von: 2012,816 Wärmeeinheiten.

II. Wärmeproduktion bei Fleischnahrung.
(Der Ansatz von Fleisch und Abgabe von Körperfett aus den Ausscheidungen berechnet.)

Einnahmen:		Ausgaben:
1832 Gramm Fleisch, davon aber nur zersetzt 1300 Gramm		86,00 Harnstoff.
Fett zum Braten 70 Gramm	145,14 Fett.	1,95 Harnsäure.
Weiterverbrauch an Fett vom Körper 75,14 Gramm		99,00 Koth.

Daraus berechnet sich eine tägliche Wärmeproduktion von: 2779,524 Wärmeeinheiten.

III. Wärmeproduktion bei stickstoffloser Kost.
(Eiweissverbrauch und Fettansatz aus den Exkreten berechnet.)

Einnahmen:	Ausgaben:
51,55 Gramm Körpereiweiss	17,10 Harnstoff.
150,00 Gramm Fett, davon angesetzt 81,5 Gramm	0,54 Harnsäure.
68,50 wirklich verbraucht	90,00 Koth.
300,00 Stärke.	
100,00 Zucker.	

Daraus berechnen sich für die 24stündige Wärmeproduktion: 2059,506 Wärmeeinheiten.

Bei gemischter Kost beträgt die Wärmeentwickelung im Tage etwa: 2200.000.

Die vorstehend formulirten Untersuchungen habe ich an mir selbst bei vollkommener Gesundheit angestellt. Mein Alter betrug 24 Jahre, meine Grösse 1,79 Meter, mein Durchschnittsgewicht 70 Kilogramm.

Stellen wir die erhaltenen Werthe der Wärmeabgabe in 24 Stunden bei verschiedenen Nahrungsbedingungen und Korperruhe zusammen, so ergibt sich in runder Summe für den

Hungertag	2102,816 Wärmeeinheiten
Tag mit N-freier Kost	2059,506 -
Tag mit gemischter Kost	2200,000 -
Tag mit Fleischkost	2779,524 -
Im Mittel also etwa	2300,000 Wärmeeinheiten.

Helmholtz hat aus älteren, weniger genauen Angaben, als die hier zu Grunde gelegten, für den erwachsenen Mann als mittlere tägliche Wärmemenge die etwas höhere Zahl: 2700,000 Wärmeeinheiten berechnet, welche mit meinem Maximum übereinstimmt. Andere Autoren bekamen noch weit höhere, offenbar falsche Zahlen. Nach meinen Beobachtungen producirt 1 Kilogramm Mensch in 1 Stunde im Minimum (Hunger) 1,198; im Maximum (Fleischkost) 1,654; im Mittel 1,369 Wärmeeinheiten.

Für den Hund bestimmte H. Senator direkt, dass im Sommer 1 Kilogramm während 1 Stunde im Mittel 2,53 Wärmeeinheiten erzeugt. Während der Verdauung steigt die Wärmeabgabe (und CO_2-Ausscheidung) im Verhältniss von 23,28 : 35,45. Bei Wärmeentziehung sah er bei seinen künstlich bewegungslos gehaltenen Thieren die Wärmbildung sinken (cf. unten S. 645).

Aus meinen Beobachtungen leitet sich nach dem Vorstehenden vor Allem das Ergebniss ab: Die Wärmemenge, welche der menschliche Organismus in einer bestimmten Zeit zu verausgaben hat, ist von der Nahrungsweise abhängig. Weitaus am grössten ist die Wärmequantität bei Fleischkost, am geringsten bei stickstoffloser Kost; bei gemischter Kost hält sie einen mittleren Werth ein. Die Wärmemenge am ersten Hungertage beweist, dass auch ohne Nahrungsaufnahme ein fett- und fleischreicher Organismus die genügende Wärmemenge zu produciren vermag. Andere Resultate werden sich natürlich bei herabgekommenen Individuen und nach längerem Hunger ergeben. Wir finden in den mitgetheilten Zahlen den Beweis für den oben aufgestellten Satz, dass der menschliche Körper bei schlechter, z. B. Kartoffelnahrung, der Kälte viel weniger Widerstand zu leisten vermag als nach fleisch- und fettreicher Kost. Dem Fett im Unterhautzellgewebe gutgenährter Individuen wird, wenn einmal die Hautarterien durch die Kälte contrahirt sind, als schlechtem Wärmeleiter ein Antheil an der Verhinderung der allzu raschen Wärmeentziehung zugeschrieben.

Um uns eine Anschauung von der Bedeutung der grossen Zahlen der Wärmeproduktion machen zu können, müssen wir uns daran erinnern, dass eine Wärmeeinheit diejenige Wärmemenge bedeutet, welche erforderlich ist, um 1 Kilogramm Wasser um 1° C. zu erwärmen. 2300 Wärmeeinheiten genügen also, um 4600 Pfund Wasser von 0° auf 1° C. oder, was dasselbe ist, 46 Pfund Wasser von 0° auf 100° C. zu erwärmen. Nennt man Calorie, wie es vielfältig geschieht, die Wärmemenge, welche erforderlich ist, um 1 Gramm Wasser um 1° C. zu erwärmen, so producirt der Mensch im Mittel in 24 Stunden: 2,3 Millionen dieser tausendmal kleineren Wärmeeinheiten.

Man hat vielfältig den Wärmeverlust zu bestimmen versucht, welchen der Mensch auf den verschiedenen Abzugswegen für seine Wärme erleidet. Es ergibt sich, dass zum weit überwiegenden Antheil die Wärme an die Haut durch Abkühlung und Verdunstung abgegeben wird.

Nach Helmholtz' Rechnung wird von der Gesammtwärme des ruhenden Menschen verbraucht:

zur Erwärmung der kälter als der Organismus eingeführten Nahrungsmittel weniger als	2,6%
zur Erwärmung der Athemluft weniger als	5,2
zur Wasserverdunstung in den Lungen weniger als	14,7
es bleiben also für die Abkühlung und Verdunstung an der Hautoberfläche mehr als	77,5

Es ist aus dem im Vorhergehenden Gesagten klar, dass diese Abkuhlungswerthe durch verschiedene Aenderungen in den Verhältnissen bedeutende absolute Werthveränderungen erleiden können.

Man hat sich bei der HELMHOLTZ'schen Berechnung, der Annäherungswerthe zu Grunde liegen, daran zu erinnern, dass 1 Kilogramm Wasser zur Verdunstung (an der Haut und in der Lunge 582 (grosser) Calorien bedarf. Die aufgenommenen Speisen und das Trinkwasser haben in Summa eine niedrigere Temperatur als der Körper (etwa 12° C.), und verlassen als Exkrete den Korper mit dessen Temperatur. Der Erwärmung gegenüber (specifische Wärme) verhalten sie sich nach HELMHOLTZ' Annahme (cf. unten ROSENTHAL's Bestimmungen) etwa wie Wasser. Bei der Athmung werden etwa 13000 Gramm = 10 Millionen Cubikcentimeter Luft von im Mittel 12° C. eingeathmet, ausgeathmet mit 37° C., also erwärmt um 25° C. Die Wärmecapacität der Luft ist 0,26, wenn die des Wassers = 1 ist, also beträgt der Wärmeverlust durch Erwärmung der Luft bei der Athmung 13000 × 25 × 0,26 = 84,5 Calorien.

I. ROSENTHAL findet, dass sich die specifische Wärme der animalen Gewebe entsprechend ihrem Wassergehalt verschieden verhalte. Der trockenen animalen Substanz gibt er als specifische Wärme 0,3:

compacte Knochensubstanz	0,300	specifische Wärme
spongiöse -	0,710	- -
Fettgewebe	0,712	- -
Muskel, quergestreift . .	0,825	- -
Blut, defibrinirt	0,927	- -

Ueber den Zusammenhang zwischen Wärme und Muskelarbeit folgt das Nähere im 19. Capitel.

H. SENATOR's oben erwähnte directe Bestimmungen der Wärmeproduktion und der gleichzeitig abgegebenen CO_2-Menge sind in einem im Princip DULONG'schen Calorimeter angestellt, dessen Wasserfüllung, um die Thiere nicht zu stark abzukühlen, eine Temperatur von 26,5—29° C. hatte. Er fand bei einem Hunde von 5,3 Kilogramm mittlerem Gewicht pro Stunde:

am zweiten Hungertage	10,9	Calorien,	3,2 CO_2
am Tag nach der Fütterung . . .	12,6	-	3,5 -
während der Verdauung	18,9(—23,5)	-	5,0 -

Bei der Verdauung war auch die Körpertemperatur um 0,5° C. erhöht, so dass die gesammte Wärmeproduktion sich noch höher als etwa 21 Calorien berechnet. Analog sind die anderen Versuchsergebnisse. Mit der gesteigerten Warmeproduktion ist auch die CO_2-Ausscheidung, ziemlich genau in gleichem Verhältniss, gesteigert. 100 : 2,9 : 2,7 : 2,6.

Mit der Erhöhung der Körpertemperatur geht eine Vermehrung der Stickstoff- (Harnstoff-) Ausscheidung durch den Harn einher und zwar nicht nur, wie anderweitig erwähnt, bei Fieber, sondern bei sonstigem vollkommenem Wohlbefinden. G. SCHLEICH konnte an sich und zwei anderen Versuchspersonen die Körpertemperatur durch länger dauernde warme Bäder von 38—42,5° C. um über 2° C. steigen. Dadurch stieg die in 24 Stunden bei Stickstoffgleichgewicht ausgeschiedene Harnstoffmenge am Versuchstage und meist auch noch am folgenden Tage beträchtlich (2—10 Gramm), um dann wieder zur Norm (anfänglich etwas tiefer) zu sinken. (Cf. Ernährungsversuche S. 229 und Athmung S. 534.)

Historische Bemerkungen. — (Cf. Ernährung S. 198f.) CARTESIUS schloss sich der Meinung an, die schon ARISTOTELES, HIPPOKRATES und GALEN vertreten hatten, dass dem Herzen eine natürliche angeborene Wärme innewohne, welche sich von hier aus durch den ganzen Körper verbreitet. TH. BARTOLINUS schrieb im selben Sinne de flammula cordis 1667. Die Physiologen der späteren Zeit theilten sich in zwei Schulen: die mechanische und chemische.

Die mechanische Schule sprach als die Ursache der thierischen Wärme vor Allem die Bewegung des Blutes und die Reibung desselben an den Wandungen der Gefässe an. Unter den Hauptvertretern dieser Schule sind BOERHAVE, MARTINE und VAN SWIETEN zu nennen.

Sie gründeten ihre Meinung vorzüglich darauf, dass die Wärmeabgabe des Körpers durch Bewegung gesteigert werde, und dass die letztere bei Kälte das einzige Mittel zur Erhaltung desselben sei, alles, was die Blutbewegung (den Pulsschlag) beschleunige, erhöhe auch die Wärme, sie stehe im geraden Verhältniss zur Geschwindigkeit der Blutbewegung, im umgekehrten zur Weite der Gefässe. Im Winter zögen sich, zur Erzeugung gesteigerter Wärme durch vermehrte Reibung, die Gefässe mehr zusammen, im Sommer dehnten sie sich aus. Robert Douglas machte (1751) auf dieses letztere Verhalten besonders aufmerksam und behauptete, die Reibung finde hauptsächlich zwischen den Blutkügelchen statt. Fryer stellte 1785 die Hypothese auf, dass die animale Wärme durch die Reibung der festen Bestandtheile des stets bewegten Körpers entstehen solle.

Man hatte gegen diese Annahmen geltend gemacht, dass bei Reibung von Flüssigkeiten in Röhren keine merkbare Erwärmung stattfinde, Hunter machte darauf aufmerksam, dass auch solche Thiere der Kälte widerstehen, bei denen kein Blutkreislauf stattfinde. Boisson leugnet die durch Temperaturunterschiede erzeugten Veränderungen im Gefässlumen, da die Gefässe stets wärmer seien als die äussere Temperatur, und Haller meint, die strikte Widerlegung der Annahme dadurch zu führen, dass die kaltblütigen Thiere, Fische und Frösche, engere Gefässe hätten als die warmblütigen, und überdies sei bei dem kaltblütigen Frosch die Zahl der Pulsschläge doppelt so gross als bei dem Ochsen.

Zu den Vertretern der chemischen Schule gehörten von Helmont (1682), Sylvius, Ettmüller u. v. A. Sie leiteten die animale Wärme von »Gährungen und Effervescenzen« ab (cf. Ernährung), welche in Folge der Mischung des Blutes und der Säfte eintreten sollten. Hamberger behauptete 1751, dass die thierische Wärme durch Gährung, durch die Verbindung von schwefelartigen und laugenartigen Theilen entsteht, in analoger Weise wie im Taubenmist und feuchten Heu. Noch am Ende des Jahrhunderts kamen Männer wie Rhigby (1785) und Strnadt auf diese Meinung zurück.

Dagegen hatte schon 1684 Stahl an die aristotelische Beobachtung angeknüpft, dass die Wärme durch die Respiration in den Lungen erzeugt werde, indem er sich wie Aristoteles auf die vollkommener ausgebildeten Lungen der warmblütigen Thiere beruft. Hierin vereinigte sich die chemische und physikalische Schule bis zu einem gewissen Punkte. Denn schon Boerhave, Hales u. m. A. hatten angenommen, dass durch Verdichtung des Blutes in den Lungen die Wärme entstehe, welche mit der Athemluft abgeführt werde. Die chemischen Erklärungen waren dem Stande der Verbrennungslehre entsprechend noch sehr vager Natur. Man war nicht einig, ob die ausgeathmete Luft, welche nach Priestley zu den phlogistisirten gehörte, Phlogiston- oder Brennstoff aus dem Körper ausführe, oder ob nach Scheele die sogenannte reine Luft vielmehr Brennbares in den Körper hereinbringe. Adair Crawford stellte 1779 seine vielgerühmte Theorie der thierischen Wärme auf, die sich trotz vieler Gegner sehr lange in Ansehen erhielt. In den Lungen verbindet sich die »reine Luft« mit dem »Phlogiston« und es wird fast der sechste Theil derselben in Wasserdampf, das Uebrige in »fixe Luft« verwandelt. Die specifische Wärme der reinen Luft setzte er fälschlich = 4,75, die des Wasserdampfes dagegen nur zu 1,5, die der fixen Luft nur zu 1,05, wodurch ein Ueberschuss von Wärme in der Lunge entstehe, die hier dem Blut mitgetheilt und von da im Körper verbreitet werde. Die Beständigkeit der Blutwärme erklärte er wie Leslie und Franklin aus dem durch Verdunstung entstandenen Verlust, während Andere wie Blagden sie auf eine Kälte erzeugende animalische Kraft zurückführen wollten. Berlinghieri berechnete dagegen richtig, dass durch die Wasserverdunstung in der Lunge nicht Wärme, sondern vielmehr Kälte entstehen müsse.

Andere Forscher leiteten, im Gegensatz zu den vorstehenden Annahmen, die Wärme von der Verdauung ab (Gren, J. Hunter 1794). Der berühmte Franklin sagte, das Feuer sowohl als auch die Luft würden von den Pflanzen bei ihrem Wachsthum angezogen, verdichteten sich in ihnen und machten einen Theil ihrer Substanz aus. Beides werde bei der Verdauung und Assimilation ihrer Theile mit dem thierischen Körper, dem sie zur Ernährung gedient hätten, wieder frei und theile sich die-

sem mit. MORTIMER stellte die Hypothese auf, dass durch die stete Verbindung des in den thierischen Flüssigkeiten enthaltenen Phosphors mit der Luft die thierische Wärme entstehen sollte.

Unsere gegenwärtigen Anschauungen knüpfen an die Darstellungen LAVOISIER's (1777) an. Der Sauerstoff der atmosphärischen Luft erzeuge die Wärme, indem er sich mit dem Kohlenstoff in der Lunge verbindet. Er bestimmte mit LAPLACE im Calorimeter die Wärmemenge, welche ein Thier (Meerschweinchen) während der Erzeugung einer bestimmten Menge von Kohlensäure abgab, und fand, dass diese nahezu (sie war etwas grösser) übereinstimmte mit der durch Verbrennung von Kohle bis zur Bildung einer gleichen Quantität Kohlensäure hervorgebrachten. Wie diese Lehre ausgebaut wurde, ist an anderen Orten schon dargestellt worden (Ernährung, Athmung). Besonders wichtig waren J. DAVY's Untersuchungen. Doch nur langsam bürgerte sich LAVOISIER's Theorie ein. Noch 1813 ging DALTON auf die angeführte CRAWFORD'sche Theorie zurück. Ganz abenteuerliche Phantasien machten sich daneben noch breit. PEART sprach 1788 die Meinung aus, dass das »Phlogiston« der Nerven und der »Aether« des Blutes sich vereinigten, wodurch Wärme und Bewegung entstehen sollte. DE LA RIVE leitete die Wärme von der hypothetisch angenommenen Nervenelectricität, CHOSSAT u. A. im Allgemeinen von der Nerventhätigkeit her. BUNTZEN (1805) hatte bei galvanischer Reizung der Muskeln Wärme entstehen sehen, er sprach darum die Thätigkeit der Muskeln als Wärmequelle an. MATTEUCCI (1834) machte auf die von POUILLET entdeckte Wärmeerzeugung bei der Imbibition lockerer Substanzen aufmerksam, die er für trockene, gepulverte thierische Substanzen bestätigte.

LE GALLOIS gab als Resultat seiner Untersuchungen an, dass die erzeugte Wärme dem verzehrten Sauerstoff proportional sei, sie wechselt mit der grösseren oder geringeren Munterkeit, dem Wohlsein und überhaupt der Lebensthätigkeit der Thiere, dem Rohgewichte ist sie nicht proportional. DULONG und PETIT sowie DESPRETZ (1823) haben die Untersuchungen LAVOISIER's mit dem Calorimeter wiederholt und kamen im Allgemeinen zu dem Resultat, dass sich die aus dem Verbrennungsvorgang im Organismus zu berechnende Wärmemenge mit der beobachteten Wärmemenge ziemlich nahe deckt, die von ihnen gefundene Wärmemenge war etwas geringer als die aus der organischen Verbrennung berechnete.

Für unsere Kenntnisse über die thierische Wärme waren die thermoelectrischen Bestimmungen von BECQUEREL und BRECHET (1835) besonders wichtig.

Temperaturbeobachtungen für ärztliche Zwecke.

Fiebertemperatur. — Im Anschlusse an obige Auseinandersetzung soll noch einmal darauf aufmerksam gemacht werden, dass die Beobachtungen über Veränderungen des Wärmeabflusses dem Arzt die grösste Vorsicht auferlegen bei Entscheidung der Frage, ob bei einem Krankheitszustand die vermehrte oder verminderte Körpertemperatur von einer Auf- oder Abwärtsschwankung in der Stärke der Oxydationsvorgänge oder von einer Veränderung in der Wärmeabgabe abzuleiten sei. Bei regelmässiger Thätigkeit der Wärmeregulirung kann, wie die Versuche lehren, der Stoffwechsel um das Doppelte und Dreifache gesteigert oder vermindert sein, ohne dass die Körpertemperatur dadurch wesentlich beeinflusst würde. Auch eine Steigerung der Bluttemperatur, nicht nur der Temperatur der Hautoberfläche durch gesteigerte Wärmezufuhr, kann allein durch verminderten Wärmeabfluss erzeugt werden. Ja es kann, wie wir oben gesehen haben, eine Steigerung der Oxydationsgrösse im Körper das secundäre Phänomen sein, abhängig von einer primär auf dem anderen Wege erhöhten Bluttemperatur.

Nach diesen Gesichtspunkten haben wir die im **Fieber** auch bei dem Fieberfroste gefundene Erhöhung der Bluttemperatur zu beurtheilen, sie ist z. Thl. ein secundäres Phänomen, analog den von LIEBERMEISTER beobachteten Temperatursteigerungen durch Einwirkung geringerer Kältegrade, abhängig von der Contraction der peripherischen Arterien,

welche auch durch Blutleere in der Haut, wie sie regelmässig durch den Kältereiz hervorgebracht wird, dem Patienten das Gefühl des Frostes als eine Sinnestäuschung erzeugt. Aus der Erhöhung der Bluttemperatur könnten dann alle anderen Fiebererscheinungen sich ergeben: beschleunigter Herzschlag, beschleunigte Athemfolge, gesteigerte Oxydation, die dann, wenn auf die krampfhafte Contraction der peripherischen Gefässe als Ermüdungserscheinung eine Lähmung der Arterien eintritt, das zweite oder Hitzestadium des Fiebers charakterisiren. So vereinigen sich die Angaben der verschiedenen experimentell arbeitenden Pathologen, vor Allem Traube's und Liebermeister's, von denen Ersterer das Fieber als eine Contractionserscheinung der peripherischen Gefässe, der Andere als eine Steigerung der Oxydation auffasste.

Die krankhaft gesteigerte Oxydation kann aber auch als etwas Selbständiges erscheinen. Die Veränderung in der chemischen Zusammensetzung der Gewebe, die Aufhäufung von Zersetzungsprodukten in denselben hat einen selbständigen, verändernden Einfluss auf den Fortgang der normalen Zersetzungen. Es treten dadurch ganz analoge Veränderungen im Stoffumsatze ein, wie wir sie bei der Thätigkeit der Muskeln antreffen werden, und wir sehen sie hier wie da mit dem gleichen Erfolge verknüpft: Ermüdungsgefühl und Kraftlosigkeit charakterisiren die fieberhaften Krankheiten ebenso wie die normale Ermüdung. Es sind »ermüdende Stoffe«, welche sich in den Geweben anhäufen und in den Muskeln jene bekannte, scheinbare Erschöpfung, in den Nerven die abnorme Erhöhung der Reizbarkeit erzeugen; beide Erscheinungen sind durch die »Anwesenheit« der ermüdenden Substanzen, der Zersetzungsprodukte der Gewebe (Milchsäure, saures phosphorsaures Kali etc.) in letzteren und im Blute bedingt. Sowie sie entfernt oder neutralisirt sind, kehrt Kraft- und Wohlgefühl zurück.

Die Bemerkung, dass allen fieberhaften Krankheiten ein Stadium der Vorläufer vorausgeht, deren Hauptcharakteristikum als »Ermüdung« im oben gegebenen Sinne bezeichnet werden muss, bei der sich die Muskelschwäche und nervöse Erregung bis zum Schmerz steigern kann, macht den Gedanken wahrscheinlich, dass es sich (im Gegensatz zu Traube's Hypothese) bei Fieber auch primär um eine gesteigerte Bildung von Zersetzungsprodukten der Gewebe (gesteigerte Oxydation) oder um mangelhafte Abführung der in normaler Quantität gebildeten handelt. Die fraglichen Stoffe können im Blute angehäuft als Reiz für die Muskulatur der Gefässe dienen und diese zur Contraction veranlassen. Man könnte hier auch an eine durch diese Stoffe angeregte Veränderung in der Wirkung des Tscheschichin'schen Wärmemoderationscentrums im Gehirne denken, wodurch primär eine Contraction der Gefässe hervorgerufen würde, welche später in eine Lähmung desselben übergeht. Man hat die Höhlenflüssigkeiten des Gehirnes reich an Kalisalzen gefunden; es ist wahrscheinlich, dass die vorhandenen Analysen sich auf krankhaft veränderte Flüssigkeiten bezogen, und es entsteht so die Frage, ob nicht die Vermehrung der Kalisalze im Gehirne entsprechend ihren heftigen Wirkungen auf Nerven und Muskeln vielleicht einen Anstoss zur Veränderung der normalen Körperaktionen bei dem Entstehen fieberhafter Krankheiten geben könne.

Da wir eine Erkaltung der Hautoberfläche mit Veränderungen, Steigerungen in den Stoffvorgängen verknüpft sehen, so begreifen wir leichter, wie die »Erkältung« als krankmachende Ursache wirksam werden könne, wenn wir als letzten Krankheitsgrund die Anhäufung gewisser durch den Stoffumsatz im Körper entstehender Stoffe in übermässiger Menge im Blute und den nervösen Centralorganen annehmen. A. Walther beobachtete bei allen seinen Thieren, die er übermässig erkaltet hatte, in den folgenden Tagen einen sehr gesteigerten, »fieberhaften« Stoffverbrauch, sie verloren alle bedeutend an Gewicht. Ebenso stimmt mit der hier gegebenen Anschauung über das Fieber überein, dass der Körperzustand nach übermässiger Muskelaktion kaum vom Hitzestadium eines heftigen Fiebers zu unterscheiden ist: das erregte Aussehen, die glänzenden Augen, die gesteigerte Temperatur der Haut und des Blutes, das Jagen des Pulses und der Athemthätigkeit, die erhöhte nervöse Erregbarkeit, die bis zu Schlaflosigkeit und Zittern sich steigern kann, verbunden mit grosser Ermattung der Muskulatur, Unfähigkeit zur Muskelbewegung; die Farbe und das Ansehen des sedimen-

tirenden, in spärlicher Menge abgesonderten concentrirten Harnes. — Alles sind Zeichen des Fiebers. Die Bilder der Ermüdung momentan nach starker Muskelaktion und des fieberhaften Hitzestadiums sind in Nichts verschieden; wir können kaum daran zweifeln, dass sie durch die gleichen Ursachen hervorgerufen werden: durch Vermehrung der im Blute und in den Geweben enthaltenen Zersetzungsprodukte. Nach der Nahrungsaufnahme sind letztere natürlich ebenfalls in analoger Weise gesteigert; dem entsprechend sehen wir nach jeder stärkeren Mahlzeit auch eine Art fieberhaften Zustandes eintreten. Am bedeutendsten ist die gleichzeitige Entstehung der, man gestatte den Ausdruck, »fiebererzeugenden« Stoffe nach starker Fleischnahrung; in meinen Versuchen sah ich den »fieberhaften« Zustand nach dem Essen bei Aufnahme übermässig grosser Fleischmengen am stärksten. Es wurden 2000 Gramm (frisch gewogenes) Rehfleisch gegessen. Nach dem Essen heftiger Durst, bedeutendes Hitzegefühl mit Schweiss, Kopfschmerz, Nachts trotz grosser Ermattung sehr gestörter und unruhiger Schlaf. —

Der Arzt benutzt zu seinen **exakten Temperaturbestimmungen** das Quecksilberthermometer. Da es von grösstem Werthe für ihn ist, absolute Werthangaben für die Temperatur zu erhalten, so muss sein Thermometer genau auf seine Richtigkeit geprüft sein. An einem thauenden Tage im Frühjahr hat der schmelzende Schnee die Temperatur von 0°, es ist also leicht, diesen fixen Punkt zu bestimmen. Es zeigt sich bei der Controle sehr häufig, dass bei gut gemachten Thermometern der Nullpunkt etwas zu tief oder zu hoch angegeben ist. Die Thermometer werden dadurch für absolute Angaben nicht unbrauchbar. Man zieht von dem gefundenen Werthe soviel ab oder setzt so viel zu, als der falschen Lage des Nullpunktes entspricht. Steht der wahre Nullpunkt des Thermometers z. B. auf 1,5° C., so hat man 1,5° von allen Zahlenangaben des Thermometers, um absolute Werthe zu erhalten, abzuziehen. Die physikalischen Anstalten in fast allen Städten (in Gewerbe- und Realschulen etc.) geben dem Arzte auch hinreichend Gelegenheit, sein Instrument ganz genau prüfen zu lassen. Die Firma der Thermometerfabrik gibt keinen genügenden Schutz, da z. B. die Veränderung des Nullpunktes ein physikalisch nothwendiges Phänomen ist.

Das Thermometer soll den Nullpunkt angeben, keine Papierscala, sondern eine Glas- oder Porzellanscala haben und kleinere Unterabtheilungen von Graden noch direct ablesen lassen. Ist jeder Grad in 0,2° getheilt, so lässt sich 0,1° noch schätzen. Je kleiner, desto handlicher im Allgemeinen. Eine kleinere Quecksilberkugel erhöht die Raschheit, eine grössere die Sicherheit der Messung.

Die erste Bedingung der Temperaturmessung ist die, dass das angewendete Verfahren nicht selbst die Temperatur des Theiles verändert, dessen Temperatur man messen will. Diese Gefahr ist am grössten bei Messung der Wärme an der Körperoberfläche. Bringt man die Thermometer auf die Haut und umgibt diese mit einem schlechten Wärmeleiter, so steigt durch den gehinderten Wärmeabfluss die Temperatur der Hautstelle. Es scheint nur mit thermoelectrischen Apparaten die Hauttemperatur genau bestimmbar zu sein, da man dieselben so klein machen kann, dass die durch sie gesetzte Störung des Wärmeabflusses verschwindend wird. Es entziehen sich diese Beobachtungen dadurch der allgemeinen ärztlichen Praxis.

Bedient man sich eines Quecksilberthermometers, so ist die erste unerlässliche Bedingung, dass die Thermometerkugel wirklich die Temperatur des zu messenden Theiles annimmt. So lange die Temperaturunterschiede zwischen Thermometer und Körper gross sind, geht die Erwärmung des ersteren rasch, sie wird aber immer langsamer, je mehr sich die Temperaturen ausgleichen. Es braucht also ziemlich lang, ehe das Thermometer wirklich die Temperatur richtig anzeigt: kaum jemals ist das unter 15 Minuten der Fall, auch nach dieser Zeit sieht man oft noch ein geringes Ansteigen. Die Messung ist erst dann vollendet: wenn das Thermometer innerhalb 5 Minuten nicht mehr merklich gestiegen ist.

Die Functionen der Kleider.

Dieser Abschnitt der Wärmelehre des menschlichen Organismus hat in der neueren Zeit eine seiner Wichtigkeit entsprechende Untersuchung von Seiten v. Pettenkofer's gefunden, der wir uns hier anschliessen.

Der Werth der Kleidung für Physiologie und praktische Medicin springt sogleich in die Augen, wenn wir bedenken, dass durch die Umhüllung die Functionen der natürlichen Körperoberfläche wenigstens theilweise übernommen werden. Der Hauptzweck der Kleidung besteht darin, den Wärmeabfluss aus unserem Körper, für dessen Regulirung wir im Körper selbst gelegene, unwillkürlich thätige Einrichtungen kennen gelernt haben, willkürlich zu modificiren. Der Werth der Kleidung steigt für den Menschen mit der abnehmenden Mitteltemperatur des Klimas, in welchem er lebt. Die Natur hat den Menschen nicht wie die Thiere in eine dickere Schicht die Wärme schlecht leitender Stoffe Federn, Haare eingehüllt. Die Kleider haben dem Menschen diesen nur scheinbaren Mangel zu ersetzen, der ihn befähigt, indem er die Kleidung der Temperatur anpasst, den Kampf mit den atmosphärischen Einflüssen aller Zonen zu bestehen. Die Mitteltemperaturen, in welchen der Neger und der Eskimo leben, unterscheiden sich um 43° C., ohne dass die Bluttemperatur beider verschieden wäre.

Die Kleider haben verschiedene Aufgaben zu erfüllen. Die eine besteht darin, durch Leitung die Körpertemperatur auf andere schlecht leitende Stoffe zu übertragen, welche dann die Wärmeabgabe an die Luft an ihrer Oberfläche an Stelle der Haut übernehmen. Die Stoffe müssen schlechte Wärmeleiter sein, damit sie die ihnen übertragene Wärme nicht zu rasch wieder abgeben. Es überziehen den Menschen die Kleider gleichsam mit einer zweiten Haut. Seine empfindliche, nervenreiche Hautoberfläche, welche jede Temperaturveränderung mit dem unangenehmen Gefühle des Frostes beantwortet, erkältet sich bei richtig gewählter Kleidung, wie das Thermometer ergibt, niemals unter 24 bis 30° C. Bei dieser hohen Temperatur fühlen wir uns wohl, zum Beweise, dass der Mensch eigentlich für ein warmes Klima geboren ist. In seinen Kleidern trägt er das für sein Wohlbefinden erforderliche Klima bis zu den arktischen Regionen. Die Wärmeabgabe findet bei dem bekleideten Menschen an der äusseren Oberfläche der Kleider statt. Diese erkaltet, während die innere, die den Körper direct berührt, relativ hoch temperirt bleibt. Von dem Erkalten der Kleideroberfläche spürt die Haut Nichts, die Kleider übernehmen, könnte man sagen, das Frieren für sie. Dasselbe ist der Fall bei der Wärmeabgabe behaarter oder befiederter Thiere, oder bei dem Menschen am behaarten Kopfe. Da hier die Haut auch mit schlechten Wärmeleitern umgeben ist, welche nervenlos sind, so findet die Abkühlung unempfunden an der Oberfläche jener statt. Ist die Temperaturdifferenz zwischen Haut und Luft sehr bedeutend, so ziehen wir noch einen zweiten oder dritten Ueberzug über die Haut; Hemd, Rock, Ueberrock, um die Wärmeabgabe noch weiter von der Hautoberfläche wegzuverlegen.

Pettenkofer hat Untersuchung darüber angestellt, wie sich die am meisten zur Kleidung benutzten Stoffe, Leinwand und Flanell (Schafwolle) der Wasseraufnahme und Wasserverdunstung gegenüber verhalten. Es stellte sich vor Allem heraus, dass das gleiche Gewicht an Schafwolle in feuchter Luft fast doppelt so viel Wasser in sich aufnahm als die Leinwand, die erste ist also etwa doppelt so stark hygroskopisch als die letztere. Noch wichtiger ist es, dass die Leinwand unter den gleichen Verhältnissen sehr viel rascher ihr hygroskopisch aufgesaugtes Wasser verliert als der Flanell; der Flanell trocknet auch, äusserlich mit Wasser befeuchtet, weit langsamer als die Leinwand. Ohne Zweifel haben wir in dem Verhalten der beiden Stoffe der Feuchtigkeit gegenüber einen Erklärungsgrund, warum die Praxis unter Umständen Leinwand oder Wolle als Kleidung wählt. Wir wissen, dass die Verdunstung der feuchten Fläche, an der sie stattfindet, sehr rasch eine bedeutende Wärmemenge entzieht; je rascher die Verdunstung stattfindet, desto rascher und plötzlicher ist der Wärmeverlust, desto eingreifender werden also auch seine etwaigen

physiologischen Wirkungen sein. Schweiss an sich wird nicht zur Krankheitsursache, wenn seine Verdunstung nicht zu rasch erfolgt, dagegen sehen wir, wenn einem Schwitzenden, z. B. bei Zug und Wind, durch die rapide Verdunstung sehr rasch Wärme entzogen wird, den Schweiss als Krankheits-, Erkaltungsursache auftreten. Die Kleider saugen die wässerigen Hautabscheidungen in sich, die Verdunstung findet zumeist an der Kleideroberfläche statt. Geht die Verdunstung sehr rasch vor sich, so wird sie sich auch der Haut als Erkaltung fühlbar machen. So schützt die Wolle auf dem blossen Leibe getragen vor Erkältung, sie trocknet, da sie sehr hygroskopisch ist, die Hautoberfläche, verlegt dadurch die Verdunstung möglichst weit von dieser weg und vertheilt den durch die Wasserverdunstung erfolgenden Wärmeverlust auf eine grössere Zeit, so dass er in jedem einzelnen Zeitabschnitt einen bestimmten kleinen Werth nicht überschreitet, wodurch der Haut der Wärmeverlust möglichst unfühlbar gemacht wird. Dagegen wissen wir, dass die leinenen Kleider, so wie sie z. B. durch Schweiss feucht sind, das Gefühl der Kälte hervorbringen, während die wollenen bei mässiger Feuchtigkeit wärmer zu werden scheinen. Der Grund, warum Leinwand erkältet, liegt in der rascheren Wasserabgabe. Da sie weniger hygroskopisch ist als Wolle, so bleibt bei stärkerem Schwitzen die Haut unter ihr nass, sodass an der Hautoberfläche Verdunstung mit Wärmeverlust stattfindet. Wo es uns also darauf ankommt, unsere Wärme möglichst rasch loszubringen, z. B. im Sommer, da werden sich leinene Stoffe als Kleidung empfehlen. Jeder, welcher leicht in Schweiss geräth, wird aber wohlthun, sich gerade in heissen Zeiten und Klimaten mit Flanell zu umhüllen (wollene Unterkleider), um sich bei Temperaturwechseln, Wind oder Zug nicht der Erkältung auszusetzen.

Eine weitere Aufgabe der Kleidung besteht darin, die Luftbewegung an unserer Hautoberfläche zu mässigen, so dass sie keine Empfindung in unseren Hautnerven mehr hervorbringt. Hier stimmt die Aufgabe der Kleider und Wohnräume überein. In dieser Beziehung ist das Zelt nichts Anderes als ein grosser Mantel, in den wir uns ganz verkriechen können, der Mantel ist ein Haus, das wir, wie die Schnecke das ihrige, auf unseren Schultern mit uns umhertragen. Bei der Frage nach der Lufterneuerung in unseren Wohnungen haben wir schon davon gesprochen, dass wir den Körper eines im Freien befindlichen Menschen uns wie jeden anderen feuchten Körper der Luft gegenüber zu denken haben. Je rascher die Luft an feuchten Stoffen vorbeizieht, desto rascher geht die Verdunstung vor sich, um so rascher wird einem warmen Körper seine Temperatur entzogen. Ein heisses Eisen in Wasser gesteckt kühlt rascher ab, wenn das Wasser, das ihm Wärme entzieht, bewegt wird, als wenn es ruhig bleibt. Den Hausfrauen ist die Thatsache geläufig, dass die Wäsche im Winde rascher trocknet als bei ruhiger Luft und sonst gleichen äusseren Verhältnissen. Der Grund für die raschere Abkühlung durch ein bewegtes kühlendes Medium liegt darin, dass die Wärmeabgabe um so rascher erfolgt, je grösser die Temperaturdifferenz ist zwischen den beiden, ihre Temperatur ausgleichenden Körpern. Die an der Oberfläche des warmen Körpers hinstreichende Luft erwärmt sich. Würde sie hier stagniren, so würde im nächsten Moment die Wärmeabgabe vom Körper an sie geringer werden müssen, endlich ganz aufhören, wenn die Luft die Temperatur des Körpers definitiv angenommen hätte. Wird die Luft rasch bewegt, so kommen immer neue kalte Lufttheilchen mit der Wärmequelle in Berührung, die Wärmeabgabe erfolgt sonach sehr rasch. Ein an sich auch warmer Wind oder Luftzug kann uns also erkälten; diese Gefahr wird geringer, wenn die Luftbewegung an unserem Körper geringer wird. Die Luftbewegung entzieht unserem Körper aber nicht allein direct Wärme, weil letzterer wärmer ist als erstere; sie erkältet ihn auch, wie wir wissen, durch Wasserverdunstung. Auch dieser Vorgang steigt mit der steigenden Luftgeschwindigkeit, da die an dem feuchten Körper hinstreichenden Lufttheilchen, die sich an ihm mit Wasserdampf beladen haben, sogleich wieder durch neue ersetzt werden, deren Wasseraufnahmsfähigkeit noch nicht geschwächt ist. Auch die Wasserverdunstung geht natürlich um so rascher, je grösser die Differenz zwischen dem Wassergehalt des feuchten Stoffes und dem der Luft ist, bei ganz trockener Luft ist sie am stärksten.

Wir dürfen dieses Moment in der Wirksamkeit unserer Kleider nicht überschätzen. Es

kommt durchaus nicht darauf an, eine ruhende Luftschicht um unsere Hautoberfläche her zu erzeugen; es handelt sich, wie oben gesagt, nur darum, die Luftbewegung so weit zu mässigen, dass unsere Haut keine Empfindung mehr von ihr hat, was schon bei einer Geschwindigkeit von 1½—2 Fuss in der Secunde erreicht ist wobei wir im Freien volle Windstille annehmen, und andererseits der Luft bei ihrem Vorbeiziehen an dem Körper Zeit zu lassen, sich gehörig zu erwärmen, so dass auch von Kälte kein Gefühl entsteht. Mit feinen Instrumenten (Anemometern) kann man in den Kleidern einen aufsteigenden Luftstrom nachweisen, der mit Abnahme der äusseren Temperatur an Stärke zunimmt. Trotz dieser sichtbaren Bewegung erreicht, wie schon gesagt, die Luft innerhalb der Kleider eine Temperatur von 24—30° C.

Die Undurchdringlichkeit der Kleider für Luft, welche eine möglichste Beschränkung des Luftstromes in den Kleidern erzeugen würde, ist so wenig Erforderniss für das Warmhalten, dass wir bei einigen Stoffen sogar deutlich sehen können, dass sie dann, wenn sie künstlich luftdicht gemacht sind, z. B. Leder, feuchte Leinwand, nicht mehr zum Warmhalten tauglich sind. Pettenkofer's Versuche ergeben, dass ein Kleid luftig und doch warm sein kann, und dass es hiefür mehr auf die Wärmeleitungsfähigkeit und die Unterschiede in der Wasserverdunstung des Stoffes als auf das Mehr oder Weniger Luft, welches es durchlässt, ankommt. Nach directen Bestimmungen ordnen sich die Stoffe nach ihrer Luftdurchgängigkeit in folgende Reihe, wenn wir die Luftmenge, welche gleichgrosse Stücke Zeug, in gleicher Zeit unter gleichem Druck durch sich hindurchtreten lassen, als Massstab dafür annehmen.

Flanell	10,41	Liter.
Buckskin	6,07	-
Leinwand	6,03	-
Sämisches Handschuhleder . .	5,37	-
Seidenzeug	4,14	-
Weissgares Handschuhleder .	0,15	-

Trotz des Unterschiedes im Warmhalten lassen Leinwand und Buckskin gleichviel Luft in derselben Zeit durchtreten. Die sämischen, waschledernen Handschuhe halten warm, während man in den kaum für Luft durchgängigen weissgaren, glanzledernen Handschuhen friert. Nimmt man eine doppelte Lage Zeug, so sinkt dadurch das Durchlassungsvermögen für Luft nur unbedeutend. Watte, die sehr warm hält, verlangsamt den Luftstrom ebenfalls kaum merklich. Dagegen wird die Durchgängigkeit für Luft durch Befeuchtung der Kleider unterbrochen, wir wissen, welch lästiges Gefühl daraus entsteht. Offenbar haben wir es bei letzterem um eine Behinderung der normalen Ausdünstung zu thun, der Körper befindet sich in einem analogen Zustande wie bei lackirten Thieren. Durch Einnähen in Kautschuck können dieselben Störungen in den Lebensfunctionen eintreten als durch Unterdrückung der Hautfunctionen durch Ueberstreichen mit einem undurchgängigen Firniss. Daher rührt auch die Belästigung, die wir bei sogenannten Mackintosh-Röcken aus Kautschuk empfinden.

Dem Schlusse seiner Untersuchung, der wir im Vorstehenden gefolgt sind, fügt Pettenkofer noch eine lehrreiche Betrachtung über die Wirkung **nasser Füsse** an, die in Beziehung auf diese zur grössten Vorsicht ermahnen muss. Wenn wir uns im Freien nasse Füsse zugezogen haben, so beginnt, sowie wir in ein warmes Zimmer mit trockener Luft kommen, eine bedeutende Verdunstung. Wenn man an der Fussbekleidung nur 47 Gramm Wolle durchnässt hat, so erfordert das Wasser darin so viel Wärme zu seiner Verdunstung, dass man damit 250 Gramm Wasser von 0° zum Sieden erhitzen oder mehr als ¼ Kilogramm Eis schmelzen könnte. So gleichgültig manche Menschen gegen durchnässte Füsse sind, so sehr würden sie sich sträuben, wenn man ihre Füsse zum Erhitzen einer der Verdunstungskälte äquivalenten Menge Wasser oder zum Schmelzen einer äquivalenten Menge Eis verwenden wollte, und doch thun sie im Grunde ganz das Gleiche, wenn sie ein Wechseln der Fussbekleidung verschmähen.

Die Sommerkleider eines Mannes wiegen etwa nach jetziger Mode 2,5—3 Kilogramm.

die einer Dame 3—3¼ Kilogramm. Die Winterkleider beider Geschlechter bei etwa 0° äusserer Temperatur wiegen 6—7 Kilogramm.

Eine nähere Aufzählung der durch zu enge und unzweckmässig geformte Kleider: Schnürbrüste, Rockbänder, Fussbekleidung etc. etc. gesetzten Störungen würde zu weit führen. Der Einfluss der Kleiderfarben auf die Wärme derselben, vielfältig an Wichtigkeit überschätzt, ist allgemein bekannt. Die Wirkung des Bettes, eines der nöthigsten Kleidungsstücke des Gesunden wie Kranken, ist noch nicht wissenschaftlich untersucht.

Das Wärmeleitungsvermögen organischer Stoffe und Gewebe ist verhältnissmässig gering, alle die zu Kleidungsstücken verwendeten Stoffe sind sehr schlechte Wärmeleiter. Besonders legt die bei ihnen statthabende grössere oder geringere faserige Zertheilung der Wärmemittheilung Hindernisse in den Weg. Da die Wärme eine Art von Bewegung ist, so wird ihre Ueberleitung durch jede Unterbrechung des molekularen Zusammenhanges gestört. Die Wärme muss dabei von dem festen Körper auf Luft, von da wieder auf den festen Körper übergehen, wobei die Mittheilung immer unvollkommen bleibt. Die Kleider, die thierischen Felle und vor Allem die Flaumkleider der Vögel sind also nicht nur durch das schlechte Leitungsvermögen ihrer festen Substanzen, sondern dadurch, dass sich zwischen diesen noch Luft einschiebt, so schlechte Wärmeleiter. Rumford hat Bestimmungen über die Wärmeleitung verschiedener Substanzen angestellt, die meist zur menschlichen Kleidung dienen. Die folgende Tabelle gibt ihren Wärmeleitungswiderstand auf eine willkürliche Einheit bezogen an. Der Wärmeleitungswiderstand ist dem Wärmeleitungsvermögen umgekehrt proportional, er ist für: Gedrehte Seide 917, Holzasche 927, Kohle 937, feinen Flachs 1032, Baumwolle 1046, Lampenruss 1117, Schafwolle 1118, Taffet 1169, rohe Seide 1264, Biberfell 1296, Eiderdunen 1305, Hasenhaar 1312. Alle die aufgeführten Substanzen leiten also die Wärme sehr schlecht, gedrehte Seide am besten, Hasenhaar am schlechtesten (Tyndall).

Die Heizung. — Wenn im Winter bei dem Aufenthalte in den Wohnräumen die Kleidungsstücke nicht mehr ausreichen, das behagliche Gefühl von Wärme hervorzubringen, suchen wir dieses durch Heizung zu erreichen. Auch sie hat physiologische Bedeutung. Wir frieren in einem Zimmer nicht nur, weil die Luft in ihm kalt ist, welche unseren Körper direct umgibt, sondern auch darum, weil wir durch die schlecht leitende Luft durch Wärmestrahlung gegen kalte im Zimmer befindliche Gegenstände Wärme verlieren. Es kann in einem rasch geheizten Zimmer die Luft einen hohen, sogar unangenehm hohen Wärmegrad besitzen, wir frösteln aber, wenn die Wände, Meubels etc. noch nicht durchwärmt sind, sie entziehen uns Wärme, die wir gegen sie ausstrahlen. Von einer richtigen Heizung verlangen wir also eine Durchwärmung des gesammten Wohnraumes und seines Inhaltes. Die Temperatur eines geheizten Zimmers sollte nicht über 14—15°C. steigen. Die Luft darf durch die Heizung nicht zu trocken werden, da sie uns sonst durch Wasserverdunstung zu viel Wärme entzieht. Mit dem länger fortgesetzten Heizen trocknen die Wohnungen: Wände, Fussboden, Meubles etc. mehr und mehr aus, die Luft in den geheizten Zimmern ist gegen Ende des Winters trockener als am Anfang, sie entzieht uns dann entsprechend mehr Feuchtigkeit, wir bedürfen deswegen einer höheren Temperatur, um uns wohl zu befinden, was also nicht etwa von einer eintretenden Gewöhnung an höhere Lufttemperaturen während des Winters herrührt.

Brennmaterial. — Der den Steinkohlen häufig in grösserer Menge beigemengte Schwefelkies setzt den Werth der Kohlen herab. Die entstehenden Verbrennungsprodukte des Schwefels (schwefelige Säure vor Allem) greift nicht nur die eisernen Heizapparate (Rost, Dampfkessel etc.) an, sie belästigt auch in hohem Grade die Athemorgane bei dem Aufenthalt in einem mit schlechten Kohlen geheizten Raum. Der unangenehme Geruch bei der Torfheizung rührt von den bei dem Erhitzen entstehenden ammoniakalischen Dämpfen her, die einem schwankenden Stickstoffgehalt des Torfes entstammen. Es werden bei der Verbrennung zuerst, ehe die Elemente der Brennmaterialien mit dem Sauerstoff zusammentreten, durch die alleinige Einwirkung der Hitze die Brennmaterialien chemisch zersetzt: ein nicht unbeträchtlicher Theil ihrer Elemente verbindet sich zu den flüchtigen Produkten der sogenannten trockenen Destillation. Erst wenn sich diese flüchtigen Stoffe entwickelt haben, fallen sie der

Verbrennung anheim. Der Process der Verbrennung hat also als erstes Stadium eine Gasbereitung aus dem Holz (resp. den Kohlen), welche ganz der Leuchtgasbereitung entspricht; erst dieses brennbare Gas fällt der Verbrennung anheim, wir sehen daher die Flamme das brennende Holz wenigstens zu Anfang nur umschweben. Die Gase bestehen vor Allem aus Grubengas $C_2 H_4$ und ölbildendem Gase $C_4 H_4$, denselben Stoffen, die wir in dem Leuchtgase finden. Dabei verdampft das Wasser. Nachdem diese Destillation voruber ist, in welcher sich alles Wasser und der Wasserstoff zumeist an Kohlenstoff gebunden entwickelte, bleibt die fast reine, nur noch aschehaltige Kohle zurück, welche nun mit Sauerstoff sich primär zu dem flüchtigen Kohlenoxydgas verbindet, das die Kohlengluth mit bläulicher Flamme zu Kohlensäure verbrennend umspielt. Ist der Sauerstoffzutritt nach geschlossener Ofenklappe, durch allzugrosse Ueberfüllung des Ofens mit Brennmaterial etc., zur glühenden Kohle gehemmt, so entweicht ein grösserer Theil des gebildeten Kohlenoxydes unverbrannt und kann so Anlass zu der bekannten Vergiftung mit Kohlendunst oder Kohlendampf werden. — Das offene Feuer als Ventilator cf. S. 555.

Beleuchtung. — Eine Gasflamme, welche in einer Stunde $4^1/_2$ Cubikfuss Gas verzehrt, bedarf (KNUDSEN) in derselben Zeit einer Zufuhr von 9 Cubikfuss Sauerstoff, also einer Zufuhr von 45 Cubikfuss atmosphärischer Luft. Die Leuchtkraft dieser Gasflamme ist gleich der von 24 Talgkerzen (6 Stück aufs Pfund); der Luftkonsum dieser 24 Talgkerzen ist doppelt so gross als der der Gasflamme.

II. Arbeitsleistung der Knochen, Muskeln und Nerven.

Achtzehntes Capitel.

Das Skelet und seine Bewegungen.

Stimme und Sprache.

Die Maschine des menschlichen Körpers.

Wir gingen bei unseren Betrachtungen von dem Gedanken aus, dass der menschliche Organismus eine Bewegungs- und Kraftmaschine sei, die sich in Betreff ihrer mechanischen Leistungen, z. B. Fortbewegen und Heben von Lasten, mit den Bewegungs- und Kraftmaschinen unserer Mechanik, vor Allem mit den Dampfmaschinen vergleichen lässt. Ebenso ist es mit den thierischen Organismen. Die Kraftmaschinen der Mechanik sind erfunden zum Ersatz für thierische Arbeitsleistungen; die Bezeichnung: »Pferdekraft« für die Leistungseinheit der Maschine zeigt dies noch jetzt zur Genüge.

Die Arbeitsleistungsfähigkeit der verschiedenen thierischen Maschinen ist ziemlich ungleich. Unter den zur Arbeit verwendeten thierischen Organismen besitzt das Pferd die höchste Arbeitskraft. Unter einer Pferdekraft versteht die Mechanik das Kraftquantum, welches aufgewendet werden muss, um 750 Kilogrammen 1 Decimeter hoch in 1 Secunde zu heben. Nimmt man eine ohne Nachtheil für des arbeitenden Individuums Gesundheit zu ertragende Thätigkeit an, die grösstmöglichsten Leistungen unter den vortheilhaftesten Bedingungen, und eine Arbeitszeit von acht Stunden, so ergeben sich für die am häufigsten an Stelle von Maschinen zur Arbeit verwendeten animalen Organismen: den Menschen, das Pferd, den Ochsen, Maulesel und Esel, verschiedene Arbeitsgrössen, welche F. Redtenbacher in die folgende Tabelle zusammenstellt. Als Einheit der Arbeitsgrösse ist dabei das Kilogrammmeter angenommen: diejenige Kraft, welche 1 Kilogramm in 1 Secunde 1 m hoch zu heben vermag (S. 103). In der Tabelle sind die verschiedenen Bedingungen, unter denen die Arbeitsleistung gewöhnlich erfolgt, neben einander berücksichtigt. In sehr vielen Fällen nämlich sehen wir die thierische und menschliche Arbeitskraft zur Bewegung von Arbeitsmaschinen: Kurbel, Göpel, Tretrad, verwendet, so dass

demnach noch eine Uebertragung der rohen, animalen Arbeitskraft auf die Maschine stattfindet, welche jene erst dem bestimmten, angestrebten Zweck dienstbar macht. Die Tabelle lehrt uns, dass den oberflächlichen Anschauungen entgegen, durch die Uebertragung der animalen Arbeitskraft vermittelst Maschinen, die Grösse der Leistungen herabgesetzt wird. Eine nähere Betrachtung lässt dies als natürlich erscheinen, da die Arbeitsmaschinen zu ihrem eigenen Ingangsetzen eine bestimmte, durchaus nicht verschwindende Kraftmenge bedürfen, die selbstverständlich in der Gesammtsumme der Arbeitsleistung verschwinden wird. Nur bei dem Tretrade mit 24° Ansteigung sind die Bedingungen der Uebertragung für den Menschen so günstig, dass sogar eine etwas höhere Leistung durch dasselbe als ohne Maschine resultirt. Der Mensch arbeitet hier mit seinem Gesammtkörper, was sonst niemals stattfindet.

Tabelle der animalen Arbeitsleistung.

		Kilogrammeter in 8 Arbeits-Stunden:
1. Mensch, im Mittel 70 Kgr. schwer, arbeitet:	ohne Maschine	316800
–	am Hebel . .	158400
–	an der Kurbel	184320
–	am Göpel . .	207360
–	am Tretrad .	241920
–	24° Ansteigen am Tretrad . .	345600
2. Pferd, im Mittel 280 Kgr. schwer, arbeitet:	ohne Maschine	2102400
–	am Göpel . .	1152000
3. Ochs, im Mittel 280 Kgr. schwer, arbeitet:	ohne Maschine	1382400
–	am Göpel . .	1123200
4. Maulesel, im Mittel 230 Kg. schwer, arbeitet:	ohne Maschine	1497600
–	am Göpel . .	777600
5. Esel, im Mittel 168 Kgr. schwer, arbeitet:	ohne Maschine	864000
–	am Göpel . .	316800

In der Weise, in welcher in der vorstehenden Tabelle die Arbeitsleistungen zusammengestellt sind, lassen sie sich nicht direct vergleichen. Die arbeitenden Organismen sind in ihrem Körpergewicht sehr verschieden, wir müssen, um ihre Leistungen auf ein gemeinsames Maass zurückzuführen, ihre verschiedenen Körpermasse auf ein gleiches Gewicht reduciren, und auf dieses die geleistete Arbeit berechnen. Man wählt zu derartigen Vergleichungen die Gewichtseinheit: das Kilogramm; wir berechnen die Leistungen in Kilogrammmeter für eine Secunde nach der mitgetheilten Tabelle. Es ergibt sich daraus folgende Reihe:

1 Kgr.	Mensch	arbeitet in 1 Secunde ohne Maschine:	0,157 Kgrm.
1 –	Ochs	– – 1 – – –	0,172 –
1 –	Esel	– – 1 – – –	0,178 –
1 –	Maulesel	– – 1 – – –	0,222 –
1 –	Pferd	– – 1 – – –	0,261 –

Die Reihe macht ersichtlich, dass der Mensch im Verhältnisse zu seinem Körpergewichte die geringste Summe von mechanischer Arbeit zu leisten vermag. Auch wenn wir jene höchste Arbeitsleistung im Tretrade von 24° Ansteigen unserer Vergleichung zu Grunde legen, so wird dadurch dieses Resultat nicht geändert. Die Arbeitsgrösse berechnet sich dann auf: 0,171 Kilogramm.

Der Mechanismus der Bewegung und Arbeitsleistung des menschlichen und thierischen Körpers ist von den Maschinen unserer Mechanik, die zum Ersatz derselben zur Ortsbewegung von Lasten gebaut werden, wie z. B. die Lokomotiven, in Beziehung auf Vollkommenheit der Einrichtungen noch nicht erreicht. Es liesse sich wohl denken, dass einst die Mechanik in Anwendung der am animalen Organismus erkannten Mechanismen der Ortsbewegung vollkommenere Lokomotiven zu bauen im Stande sein würde. Es wäre dies dann nicht der erste Fall, in welchem die Mechanik an den mechanischen Einrichtungen der Organismen lernte. Es ist bekannt, dass in EULER die Betrachtung des menschlichen Auges, dessen lichtbrechender Apparat aus verschiedenbrechenden Substanzen zusammengesetzt ist, den Gedanken erweckte, es müsse möglich sein, achromatische, das Licht nicht zerstreuende Fernröhre zusammenzusetzen. DOLLOND löste dieses Problem.

Die Maschine des menschlichen Organismus zerfällt nach unserer obigen Darstellung wie alle Kraftmaschinen in zwei getrennte Haupttheile: in ein System passiv bewegter Maschinentheile, welche die Richtung der Bewegung, die Art und Weise der Uebertragung des rohen Kraftvorrathes bestimmen, und in die aktiv bewegenden Theile, in denen die Kraft der Bewegung lebendig wird, welche die durch sie bewegten Hebelvorrichtungen zur Arbeit nach aussen verwenden.

Das Material, welches die Natur zur Herstellung der passiv bewegten Maschinentheile verwendet, zeigt jene hohe Vollkommenheit, welche eben erwähnt wurde. Die Mechanik verwendet zu dem gleichen Zwecke vor Allem Metall, Stein und Holz. Die Natur bedient sich eines Materiales, welches die Vorzüge der genannten in sich vereinigt: der Knochensubstanz. Sie besitzt durch ihre erdigen Bestandtheile die Festigkeit des Steines, die Beimischung von organischem Stoffe ertheilt ihr die Elasticität der Metalle.

Mikroskopischer Bau der Skeletbestandtheile.

Das Knochengewebe entsteht im Leibe des Embryo nicht primär, es ist stets ein Umwandlungsprodukt, welches sich aus den verschiedenen Modificationen des Bindegewebes bildet. Die rundlichen rings geschlossenen Zellen des Knorpels, die zackigen Bindegewebszellen verändern sich dabei zu den Knochenkörperchen, welche in Lückenräumen in netzförmiger Verbindung (cf. S. 27—32; 660, Entwickelung der Knochen) die homogene Grundmasse, die Zwischenzellenmasse der Knochensubstanz, in welche die erdigen Knochenbestandtheile eingelagert sind, durchziehen. Die Anatomen unterscheiden nach der Festigkeit des Knochengefüges: compacte und schwammige Knochensubstanz. Bei der ersteren ist das Gewebe eine fest zusammenhängende Masse; bei der zweiten umschliessen Balken und Platten aus Knochensubstanz zahlreiche unter einander communicirende Hohlräume. Die Mittelstücke der langen Röhrenknochen zeigen sich aus compacter Substanz bestehend, die Gelenkenden (Epiphysen) dagegen aus spongiöser Substanz; ebenso auch die kurzen unregelmässigen Knochen, welche nur äusserlich von einer Schale aus compacter Substanz (Glastafel) umgeben sind. Das feine Canalsystem im Knochen, in

welches die Knochenzellen eingebettet sind, und welches in offener Communication steht mit den den ganzen Knochen durchziehenden, viel verzweigten und mit einander verbundenen weiteren Canälchen. Havers'schen Canälchen, für die Aufnahme der Blutgefässe des Knochens bestimmt, geben den feinen Knochendurchschnitten und Schliffen ihr specifisches Aussehen. Die Gestalt und den Verlauf der Havers'schen Canälchen kann man am besten auf Längsschliffen

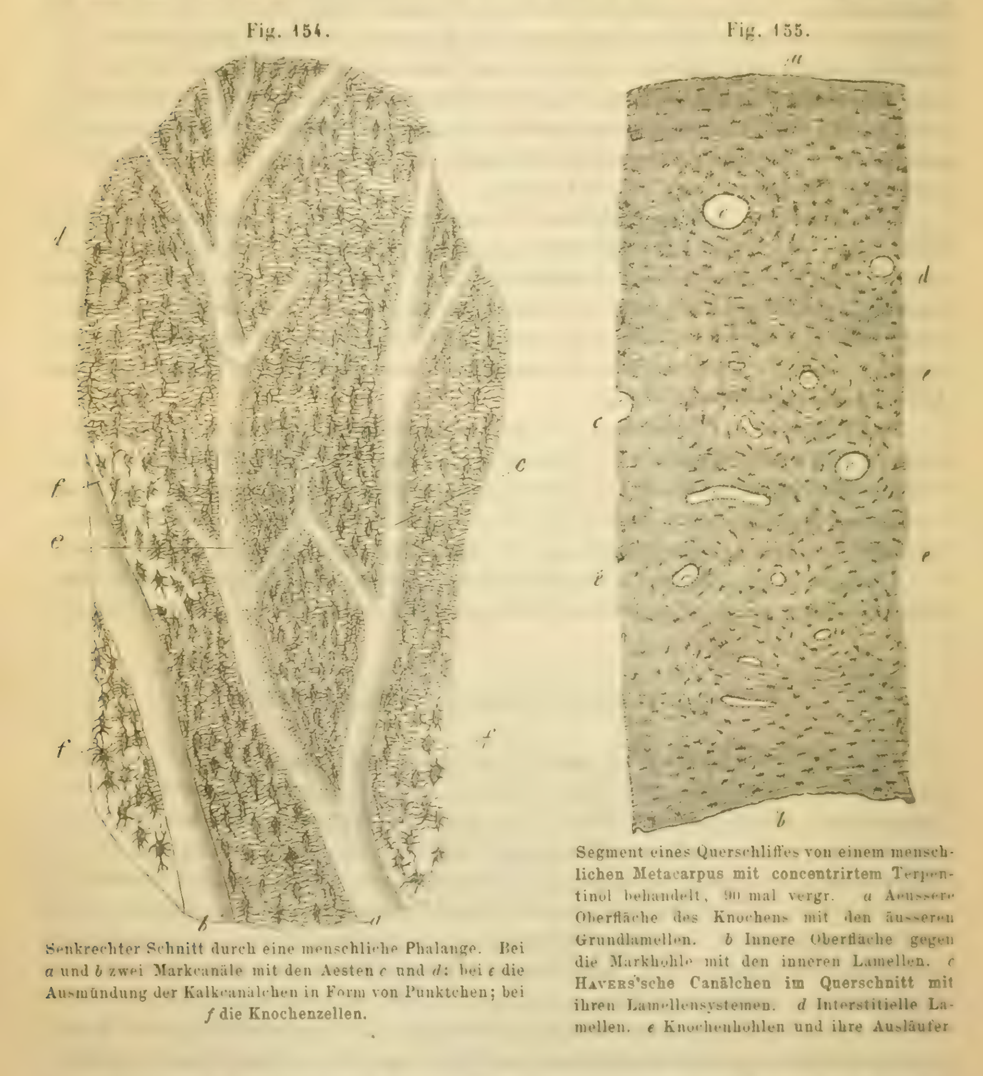


Fig. 154.

Senkrechter Schnitt durch eine menschliche Phalange. Bei *a* und *b* zwei Markcanäle mit den Aesten *c* und *d*; bei *e* die Ausmündung der Kalkcanälchen in Form von Punktchen; bei *f* die Knochenzellen.

Fig. 155.

Segment eines Querschliffes von einem menschlichen Metacarpus mit concentrirtem Terpentinol behandelt, 90 mal vergr. *a* Aeussere Oberfläche des Knochens mit den äusseren Grundlamellen. *b* Innere Oberfläche gegen die Markhöhle mit den inneren Lamellen. *c* Havers'sche Canälchen im Querschnitt mit ihren Lamellensystemen. *d* Interstitielle Lamellen. *e* Knochenhöhlen und ihre Ausläufer

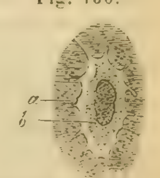
der Knochensubstanz beobachten. Sie durchsetzen den ganzen Knochen von der Oberfläche desselben unter dem Periost an, wo sie offen münden, bis zur inneren Markhöhle. Sie sind weiter oder enger, und ihre Verzweigungen entsprechen den Blutgefässtheilungen, wie wir sie auch sonst in anderen Geweben antreffen (Fig. 154). Auf dem Querschnitt des Knochens erscheinen sie als

ovale oder runde Löcher, zum Beweise, dass die Verlaufsrichtung der Gefässe im Knochen vor Allem der Längsaxe derselben folgt. In den kurzen und spongiösen Knochen ist der Verlauf der Havers'schen Canälchen nicht so regelmässig, doch halten sie auch hier vorwiegend eine gemeinschaftliche Richtung in ihrem Verlaufe ein.

Das Knochengewebe zwischen den Havers'schen Gängen besitzt, wie sich namentlich auf Querschliffen zeigt, einen deutlich geschichteten Bau (Fig. 155). Ein Theil dieser Schichten umkreist regelmässig die Havers'schen Canälchen, ein anderes Lamellensystem beginnt von den grossen Markhöhlen und durchsetzt in concentrischen Schichten die ganze Knochendicke, vielfältig von den Lamellenschichten der Havers'schen Canälchen unterbrochen, um unter dem Periost in ganz regelmässiger Schichtung (Beinhautlamelle) zu erscheinen. Diese Schichtungen werden nur bei den compacten Knochen deutlich und regelmässig sein können. Die Knochensubstanz selbst ist ziemlich undurchsichtig, aber doppelt-lichtbrechend (Valentin). Von der Beinhaut aus treten senkrecht auf die Knochenlamellen meist noch unverkalkte Fasern in die Knochensubstanz ein: Sharpey'sche Fasern.

Die Knochenzellen, welche in sehr grosser Anzahl in der Knochensubstanz sich vorfinden, liegen eingebettet in jenes schon erwähnte feine, vielverzweigte Canalnetz, dessen feine Gänge den Namen Kalkcanälchen führen. An den Stellen, wo die Knochenzellen eingebettet liegen, sind in dem feinen Kalkcanälchennetz linsenförmig gestaltete Knotenpunkte: die Knochenhöhlen (0,018—0,055 mm lang und 0,007—0,013 mm breit). Ihre Längenaxe läuft der Aussenfläche der Lamellen parallel. Die Ausläufer der Knochenhöhlen haben nur einen Durchmesser von 0,0013—0,0018 mm. An getrockneten Knochen kann man den Zusammenhang der Knochenhöhlen unter sich und mit den Havers'schen Canälchen am leichtesten überblicken. In den Knochenhöhlen, deren Wandschicht etwas compacter zu sein scheint als die übrige Knochensubstanz, liegt die eigentliche Knochenzelle. Frey beschreibt sie von der Gestalt der Knochenhöhle, unbestimmt länglich, bisweilen mit kurzen, gegen die Mündung der Kalkcanälchen gerichteten Fortsätzen, ohne eigentliche Zellenmembran mit einem länglichen Kerne (Fig. 156).

Fig. 156.



Knochenzelle aus dem frischen Siebbein der Maus mit Carmin tingirt.

Aeusserlich ist der Knochen von einer bindegewebigen Haut, dem Periost, der Beinhaut, eingehüllt, welche sehr gefässreich und mit den Knochen vor Allem durch die gemeinschaftlichen Blutgefässe, Nerven und sehnige Streifen (Sharpey'schen Fasern) verbunden ist. Zwischen der Beinhaut und dem Knochen findet sich (Ollier) eine Schicht, welche dicht stehende, rundliche Zellen enthält, von welcher das Knochenwachsthum sowie Knochenneubildung ausgeht: (Blastème sous-périostale).

Die weiteren Höhlungen zwischen der festen Knochensubstanz sind, abgesehen von den Blutgefässen und Nerven, von dem Knochenmarke ausgefüllt (cf. S. 423).

Die Bänder, welche die Knochen unter einander verbinden, sind entweder weiss und glänzend und bestehen dann vor Allem aus lockigem Bindegewebe mit elastischen Fasern durchsetzt, oder sie haben ein strohgelbes Aussehen und

sind dann vor Allem aus elastischem Gewebe gebildet (Ligamenta flava, z. B. das L. nuchae); letztere zeigen nur eine geringe Beimischung von Bindegewebe. Kommt die Verbindung der Knochen durch Knorpel zu Stande, so dient dazu entweder echter, hyaliner Knorpel (Rippenknorpel, Gelenkknorpel) oder Faserknorpel (Synchondrosen, Ligamenta intervertebralia). Bei fast allen Gelenken sind die Knochenenden mit Hyalinknorpel überzogen, nur das Kiefergelenk zeigt einen faserknorpeligen Ueberzug. Der Knorpel ist gefässlos. Die Synovialkapseln, welche die Gelenkenden mit einander verbinden, bestehen aus Bindegewebe, das zahlreiche Gefässe und Nerven besitzt, die innere Oberfläche ist mit einem Plattenepithel ausgekleidet, welches bei Erwachsenen an dem Rande der Gelenkknorpel aufhört. In die Gelenkhöhlen ragen als Fortsätze Falten und Wucherungen der Synovialkapsel, durchzogen mit zahlreichen Blutgefässchen. Dergleichen Anhänge können durch Vergrösserung und Abreissen von ihrem Stiele Anlass zur Bildung der freien, bindegewebigen Körper in den Gelenken, der sogenannten Gelenkmäuse, werden. Die Gelenkhöhle ist mit einer hellen, dicklichen, blassgelben Flüssigkeit, Synovia, Gelenkschmiere (S. 667), erfüllt, die normal keine Formbestandtheile erkennen lässt.

Die Entwickelung des Knochens findet wie oben gesagt im Fötalzustande theils aus Bindegewebe, theils aus Knorpel statt. Die Wirbelsäule, Rippen, Brustbein, Schlüsselbein, Extremitätenknochen, die Knochen der Schädelbasis sind knorpelig vorgebildet, die Schuppe des Hinterhauptbeins, die Scheitelbeine, das Stirnbein, die Schuppen der Schläfenbeine, die Schaltknochen der Schädelnähte, die Gesichtsknochen entstehen aus einer bindegewebigen Grundlage, durch die sogenannte »intermembranöse Knochenbildung«. Die Ossification erfolgt, indem sich zuerst in die Intercellularsubstanz die den Knochen charakterisirenden Kalksalze ablagern. Die Stelle, an welcher die Umbildung zuerst eintritt, bezeichnet man als Ossificationscentrum, Verknöcherungspunkt. Das Knochengewebe geht in allen Fällen aus einer wesentlich gleichen Neubildung osteogener Substanz hervor. In den Ossificationspunkten des Knorpels entstehen zunächst Erweichungen, Markbildung, mit einer weichen Zellmasse angefüllte Canäle, in welche Blutgefässe hineintreten. Das Knochengewebe entsteht nur dort, wo zuerst sich Mark gebildet hatte, und zwar an der Grenze des letzteren und des nicht aufgelösten, verkalkten Knorpels. Die Knochenzellenbildung geht von einer »epithelartig« die Markräume umlagernden Zellenschicht: Osteoplastem (GEGENBAUR) aus, welche nach der einen Annahme (GEGENBAUR) ein erhärtendes Sekret aus sich ausscheidet, welches zur Grundsubstanz wird, die Zellen selbst zeigen schon von vornherein feine Ausläufer und wandeln sich in die Knochenzellen um. Nach WALDEYER werden dagegen die Osteoplasten selbst schichtweise, während sich vom Mark aus neue bilden, in die Grundsubstanz des Knochens umgewandelt. Bei einzelnen soll diese Umwandlung und Verschmelzung nur die Aussenschicht treffen, der innere Theil mit dem Kern bleibt als eine in eine strahlige Höhle eingeschlossene Knochenzelle zurück. Die grösseren Markräume entstehen durch Auflösung (Resorption) schon fertiger Knochensubstanz. Aus der ursprünglichen Knorpelanlage geht die Substantia spongiosa hervor. Die Entwickelung der compacten Knochensubstanz erfolgt durch Verknöcherung von Bindegewebe; bei dem Wachsthum der Knochen verknöchert die innerste Periostlage im Wesentlichen nach dem angegebenen Typus. Die Verlängerung der Röhrenknochen scheint vor Allem auf Wucherung des Knorpels der Epiphysen zu beruhen, der neugebildete Knorpel verknöchert in der Folge.

Chemische und physikalische Lebenseigenschaften der Skeletbestandtheile.

Die **Knochensubstanz** besteht aus einem elastischen, etwa 12% Wasser enthaltenden Grundgewebe, chemisch aus leimgebender Substanz bestehend; in dieses sind Kalksalze — überwiegend viel neutraler phosphorsaurer Kalk [$Ca_3 P_2 O_8$; nach AEBY's von F. WIBEL bekämpften Angaben $Ca_3 P_2 O_8 + \frac{1}{3} CaO$ oder ($6 Ca_3 P_2 O_8 + 2 H_2O + 2 CaO + CO_2 + 3 H_2O$)] mit wenig kohlensaurem Kalke und phosphorsaurer Magnesia — inkrustirt, welche dem Gewebe einen hohen Grad von Steifigkeit und Festigkeit verleihen. Es ist klar, dass die physikalischen Eigenschaften, die Festigkeit und Federkraft, der Knochenmasse wechseln muss mit ihrer chemischen Zusammensetzung. Durch die umfangreichen Untersuchungen ZALESKY's scheint die ältere Behauptung erwiesen, dass die Knochensubstanz eine konstante chemische Verbindung von unorganischen Stoffen bei allen Thieren, in allen Lebensaltern etc. sei, organische Stoffe (beim Menschen): 34,6 pCt., unorganische: 65,4 pCt.; letztere bestehen nach obiger Formel aus: $Mg_3 P_2 O_8$ 1,0392 und $Ca_3 P_2 O_8$ 83,8886, dann CaO an CO_2, Cl, Fl gebunden: 7,6475, daneben noch Spuren von Eisenoxyd. AEBY fand im Menschenknochen 31,43 pCt. organische Substanz, 12,21 pCt. Wasser und sein specifisches Gewicht zu 1,936.

Vergleichende chemische Untersuchungen haben jedoch weiter ergeben (BIBRA, LEHMANN, AEBY), dass der Procentgehalt der Knochenmasse an erdigen, feuerfesten Bestandtheilen und damit das specifische Gewicht in den gleichnamigen Knochen im Alter verschiedener Individuen entsprechend der verschiedenen Arbeitsfähigkeit bis zum kräftigen Mannesalter steigt, um von da an wieder zu fallen. So betrugen z. B. bei einem Kinde von $\frac{3}{4}$ Jahren die erdigen Knochenbestandtheile des Femur 56,4 pCt., bei einem 25jährigen Manne 69,0 pCt., bei einem 78jährigen Weibe 66,8 pCt. Die untersuchte Knochenmasse war getrocknet, der Rest bestand also allein aus trockener leimgebender Substanz. Nach den Untersuchungen von WERTHHEIM nimmt in Uebereinstimmung mit diesen Ergebnissen der chemischen Analyse die *Festigkeit* der Knochen mit dem zunehmenden Alter ab.

Den einzelnen Knochen, welche das mechanische Gerüst des menschlichen Körpers zusammensetzen, werden in dem Haushalte des Organismus verschieden grosse Kraftleistungen zugemuthet, welche einen verschiedenen Grad von Festigkeit voraussetzen. Die Rippen und das Brustbein sind offenbar viel geringerem Drucke ausgesetzt und bedürfen, um den ihnen übertragenen mechanischen Leistungen zu genügen, einer geringeren Festigkeit als der Oberarm- oder Oberschenkelknochen, die so vielfältig als starre Hebel verwendet werden. Diesen Verschiedenheiten in den Anforderungen von Seiten des Organismus an die Festigkeit der einzelnen Knochen entspricht ein verschiedener Gehalt an Knochenerde, auf deren Anwesenheit die genannte Eigenschaft der Knochen beruht. Nach den Untersuchungen von BIBRA enthält das Oberarmbein 60 pCt., das Brustbein 51 pCt. Knochenerde. Die übrigen Knochen ordnen sich dazu in folgender Reihe: Humerus, Femur, Tibia, Fibula, Ulna, Radius, Metacarpus, Os occipitis, Clavicula, Scapula, Costa, Os ilium, Vertebrae, Sternum.

Ausser der chemischen Zusammensetzung muss auf die *physikalischen*

Eigenschaften der Knochen offenbar auch noch ihr verschiedener Bau von Einfluss sein. Je nach der Anzahl und Grösse der vorhandenen Markcanälchen und Knochenhöhlen wird die Festigkeit und Federkraft wechseln. Wir erkennen auch hier den Aufgaben, zu welchen der Organismus die einzelnen Knochen gebraucht, entsprechende Verhältnisse.

Nach C. Aeby gewinnt der frische Knochen durch Abkuhlung auf die Lufttemperatur auch unter Wasser hygroskopische Eigenschaften, die er durch Erwärmen wieder verliert, um die Eigenschaften eines befeuchteten Gewebes anzunehmen; somit ändert sich sein physikalisches Verhalten in hohem Masse.

Ueber das Maass der absoluten Festigkeit der Knochen haben Bevan und Wertheim Untersuchungen angestellt. Sie massen die Kraft, welche nöthig ist, compacte Knochen zu zerreissen. Rauber mass die Kraft, welche erforderlich ist, um Knochen zu zerdrücken: rückwirkende Festigkeit. Die absoluten Werthe für Cubikcentimeter der geprüften Knochen sind nach ihm folgende: Das Oberschenkelbein des Menschen bedurfte zum Zerdrücken parallel zu seiner Längsaxe 1680—2320 Kilogramm; senkrecht zur Längsaxe 1780. Das Schienbein desselben Individuums in beiden Richtungen 1120—1382 und 1137. Die Spongiosa eines Lendenwirbels eines Erwachsenen 65—95, eines Rippenknorpels 199—170 Kilogramm.

H. Meyer hat in dem **Bau der spongiösen Knochensubstanz** eine bestimmte Structur nachgewiesen; ihre Faserung ist verschieden, je nachdem sie einseitigen oder mehrseitigen Widerstand zu leisten hat. Am unteren Ende der Tibia z. B., welche einen mehr einseitigen Widerstand zu leisten hat, bemerkt man auf frontalem Durchschnitt von den corticalen Schichten längsverlaufende Lamellen sich ablösen, welche in perpendiculärer Richtung die Spongiosa parallel senkrecht auf die Gelenkfläche durchziehen. Am oberen Ende der Tibia durchkreuzen sich die Züge der Spongiosalamellen, rundmaschige Räume umschliessend, geeignet, nach allen Seiten Widerstand zu leisten. Am wenigsten ausgebildet ist, den mechanischen Ansprüchen entsprechend, dieser Bau in den oberen Extremitäten.

Auch die Knochen zeigen Stoffwechsel. Wir sehen das Leben überall mit einem Wechsel und Zersetzung der chemischen Bestandtheile der belebten Organismen und ihrer Organe verbunden. Man könnte auf den Gedanken verfallen, dass diese starren, steinähnlichen Massen, die Knochen, dem chemischen Wechselverkehr des Lebens entzogen seien. Nur bis zu einem gewissen Grade ist diese Annahme gerechtfertigt. Jene anorganischen Stoffe des Knochens, welche mehr als die Hälfte seiner gesammten trockenen Masse ausmachen, sind alle höchstoxydirte Verbindungen, eine Aufnahme von Sauerstoff in ihre Zusammensetzung und dadurch ein Antheilnehmen dieser Stoffe an den Kräfteerzeugenden organischen Vorgängen findet nicht mehr statt, die betreffenden Kalkverbindungen besitzen einen anorganischen Charakter.

In der organischen Grundsubstanz der Knochen beweist der Bau aus den mit einander communicirenden Zellen, den Knochenkörperchen, welche in die Kalkcanälchen der Zwischenmaterie sich eingelagert finden, sowie die reichlichen Blutgefässe, die sie durchziehen, und die in sie eintretenden Nerven einen verhältnissmässig regen Stoffverkehr und Stoffwechsel.

Pathologische und experimentell-physiologische Erfahrungen ergeben, dass die Lebenserscheinungen im Knochen ziemlich lebhafter Natur sind. Bei Knochenbrüchen findet eine Neubildung der Knochensubstanz vom Periost aus statt, welcher Vorgang schliesslich die Wiedervereinigung der getrennten Knochentheile, die Heilung der Fractur herbeiführt. Fütterungsversuche mit dem rothen

Farbstoffe des Krapp oder Einspritzen von Alizarin in die Venen (LIEBERKÜHN), wodurch nur die neugebildete Knochensubstanz (LIEBERKÜHN, F. BUSCH u. A.) roth gefärbt wird, sprechen dafür, dass beständig ein Neuwachsthum der Knochensubstanz durch Apposition theils vom Periost aus (Dickenwachsthum) und theils vom Intermediärknorpel an der Diaphyse aus (Längenwachsthum) stattfindet. Diesen Wachsthumsvorgängen entsprechen fortgehende Resorptionsvorgänge in der Markhöhle. Auch die flachen Knochen (z. B. des Schädels) wachsen durch Apposition (H. MAAS).

Auch der anorganische Theil der Knochen wird insofern in die Lebensvorgänge hineingezogen, als auch er einem beständigen Verbrauch, einer Auflösung und einer ebenso beständigen Erneuerung unterliegt. Bei Mangel an Kalksalzen in der Nahrung sehen wir die Knochen jugendlicher Individuen nach und nach erweichen, die anorganischen Stoffe schwinden (bei erwachsenen Thieren scheint dagegen die Knochenzusammensetzung von der Nahrung in weiten Grenzen unabhängig, WEISKE); umgekehrt wird die Knochenbildung bei knochenschwachen Kindern und bei Knochenbrüchen nach ärztlichen Erfahrungen durch Kalkzusatz zur Nahrung befördert. Die Möglichkeit der Lösung und des Wiederersatzes der phosphorsauren Kalkerde wird durch die Albuminate und zwar vorzüglich das Caseïn gegeben, die Albuminate machen diesen wichtigen chemischen Stoff dadurch, dass sie sich mit ihm verbinden, in den alkalischen Säften: Blut und Lymphe, löslich.

Knochenresorption. — Wo Knochen und Zähne im normalen Verlaufe der Entwickelung einer Resorption anheimfallen, zeigen sie ausnahmslos eine feingrubige lakunose Oberfläche. Diese Lakunen sind meist je von einer Riesenzelle eingenommen, welche durch eine Umgestaltung der Bildungszellen des Knochengewebes: der Osteoplasten (S. 660), entstehen. Diese Riesenzellen sind es, welche das Knochen- und Zahngewebe während des Zahnwechsels auflösen, sie werden daher als Osteoklasten oder Osteophagen bezeichnet (KÖLLIKER). Bei der Lösung verschwindet organische und anorganische Knochensubstanz gleichzeitig.

Historische Entwicklung und gegenwärtiger Stand der Frage des Knochenwachsthums (nach H. HELFERICH).

Das Wachsthum der Knochen gehört zu den interessantesten Vorgängen am jugendlichen Organismus und ist wohl schon desshalb mit Vorliebe zu allen Zeiten Gegenstand der Ueberlegung und Untersuchung gewesen, da kein anderes Organ im Organismus in verschiedenen Altern so bedeutende Grössendifferenzen zeigt, wie der lange Röhrenknochen. Auf den letzteren beziehen sich die verschiedenen Untersuchungen hauptsächlich. Die kurzen und breiten Knochen des Skelettes und der Schädel unterliegen ohne Zweifel denselben Vorgängen, doch liegen die Verhältnisse an denselben nicht so klar und sind nicht so leicht nachzuweisen.

Es wäre ein Irrthum, zu glauben, dass in Folge aller dieser erwähnten Verhältnisse die Wachsthumsvorgänge an den langen Röhrenknochen, auf die wir uns im Folgenden allein beziehen werden, von den verschiedenen Autoren einmüthig aufgefasst würden. Im Gegentheil standen sich lange Zeit zwei Parteien scharf gegenüber. Die Einen nahmen an, der jugendliche Knochen erhalte die Form des erwachsenen durch sogenannte interstitielle Vorgänge, d. h. durch Expansion der vorhandenen Knochenbälkchen und durch Einlagerung neuer Theilchen zwischen dieselben (interstitielles Knochenwachsthum); die Andern waren der Ansicht, dass die einmal gebildete und vorhandene Knochensubstanz nicht weiter veränderlich sei, namentlich nicht direct sich ausdehnen könne, sondern dass das Wachsthum durch Apposition neuer äusserer Schichten zu Stande komme, dass das Längenwachs-

thum durch Apposition am Diaphysenende vom sogenannten Epiphysenknorpel aus erfolge, während das Dickenwachsthum durch periostale Anbildungen vor sich gehe (appositionelles Knochenwachsthum, Appositionstheorie).

Manches schien zunächst für die Richtigkeit der zuerst erwähnten Anschauungen zu sprechen: einmal die Analogie mit den Wachsthumsvorgängen aller übrigen Organe des Organismus, welche unzweifelhaft auf interstitiellen Vorgängen beruhen; dann der Umstand, dass dabei eine gewisse aktive Lebensthätigkeit der Knochen angenommen wurde, eine Annahme, welche viel besser zu den anatomischen Thatsachen von dem grossen Gefässreichthum des Knochens passte, als die Ansicht, der einmal gebildete Knochen verhalte sich rein passiv; endlich schien die Erklärung mancher Veränderungen an Knochen, besonders die Bildung und ungleiche Vergrösserung der Markhöhle, viel leichter und ungezwungener bei Annahme interstitieller Processe. In diesem Sinne schrieb Joh. v. Müller in seinem Lehrbuch der Physiologie: »dass die Knochensubstanz durch die Beinhaut gebildet werde, diese Vorstellung halte ich für eine des jetzigen Zustandes der Physiologie unwürdige Barbarei«.

Die Appositionstheorie blieb im Laufe der Zeit fast unverändert; man nahm nur ausser der Apposition auf einer Seite das Vorhandensein von Resorptionsprocessen auf der andern Seite an, namentlich um merkwürdige Veränderungen an der äussern Oberfläche und an der Markhöhlenseite des Knochens zu erklären. Die Entdeckung der Osteoklasten wurde eine bedeutende Stütze dieser Ansicht.

Wenn man heute die Vorgänge am Knochen vorurtheilsfrei untersucht und die Richtigkeit der beiden Wachsthumstheorien prüft, so ergibt sich etwa folgendes:

1. **Grob anatomische Beobachtung.** — Man hat in der zu verschiedenen Altersstufen sich geometrisch ähnlich bleibenden Architectur der Knochenbälkchen einen Umstand zu finden geglaubt, der nur durch die Annahme einer Expansion, also interstitieller Processe, keineswegs aber durch Apposition zu erklären sei (J. Wolff). Diese Beobachtungen sind hauptsächlich am obern Femurende gemacht worden.

Im Gegensatz hierzu ist sicher nachgewiesen, dass der Winkel zwischen Hals und Schaft des Femur während der Wachsthumsvorgänge nicht gleich bleibe (Steudener, Langer). Und als zweiter Umstand wurde gefunden, dass die Architectur der Knochenbälkchen überhaupt keineswegs unwandelbar sei: man weiss, dass die Resorption des Callus nach Fracturen nur bis auf die physiologisch wichtige Form stattfindet, dass dabei entsprechend einer etwa vorhandenen Dislocation eine veränderte, aber zweckmässige Anordnung der Knochenbälkchen stattfinde, und dass nach einer guten Lagerung der Fracturstücke die normale Architectur wieder gebildet werden könne.

2. **Die mikroskopische Beobachtung** wurde von verschiedener Seite und besonders an dem Unterkiefer angestellt.

Ruge untersuchte das 1. Backzahnstück des Unterkiefers an verschiedenen Altersstufen; Strelzoff fand bei seinen ausgedehnten Untersuchungen über die Knochenentwicklung, dass die Knochenkörperchen in embryonalen Knochen näher aneinander liegen, als im erwachsenen; beide Beobachter wurden Verfechter des interstitiellen Knochenwachsthums.

Aus den Untersuchungen von Ruge konnte aber nur hervorgehen, dass das betreffende Knochenstück in verschiedenem Alter verschieden sei, nicht, dass derselbe Knochen durch interstitielle Vorgänge sich ändere. Strelzoff's Messungen wurden nur als richtig befunden, wenn man von der Peripherie des einen zum nächsten Rande des Nachbarkörperchens misst; stellt man dagegen die Messung vom Centrum des einen zum Centrum des andern Knochenkörperchens an, so erhält man in jugendlichen und erwachsenen Knochen annähernd dasselbe Resultat: die Erklärung zeigt, dass die Knochenkörperchen bei Erwachsenen kleiner sind, als in der Jugend; so kommt es, dass die in der That vorhandene grössere Dicke der zwischen zwei Knochenkörperchen abgelagerten Knochensubstanz beim Erwachsenen nicht im Sinne des interstitiellen Wachsthums zu verwerthen ist (Steudener u. A.). Endlich ergibt sich aus den Beobachtungen von v. Ebner, dass die Knochenstructur vom Kind und Erwach-

senen total verschieden ist, und desshalb eine directe Vergleichung minutioser Verhältnisse nicht zulässt.

3. Experimentelle Untersuchung. — Gegenüber den Angaben von J. Wolff ist zunächst in Betreff des Längenwachsthums an den langen Rohrenknochen Folgendes zu konstatiren:

Stifte, welche als Marken in gemessener Entfernung an der Diaphyse eines jugendlichen Knochens eingefugt werden, zeigen nach weiterem Wachsthum des Knochens keine Verschiebung zu einander, sie behalten ihre ursprüngliche Entfernung von einander; eine Verschiebung tritt nur insofern ein, als die durch die Stifte markirte Knochenpartie von dem Knochenende abrückt und mehr in die Mitte des Knochens geräth.

Stifte, welche in gemessener Entfernung in Diaphyse und Epiphyse fixirt sind, also den Intermediärknorpel zwischen sich fassen, zeigen nach weiterem Wachsthum des Knochens eine beträchtliche Verschiebung zu einander: die Entfernung ist gewachsen. Diese beiden Versuche sind von J. Hunter, Duhamel, Maas, Wegner, Ollier u. A. angestellt.

Wird der eine Intermediärknorpel eines jugendlichen Knochens entfernt, ohne dass der Knochen sonst beschädigt wird, so zeigt sich nach vollendetem Wachsthum, dass der betreffende Knochen kürzer ist, als der entsprechende gesunde der anderen Seite (Ollier). Durch eine Combination des obigen Stiftversuches mit der letzterwähnten Excision des Intermediärknorpels lässt sich nachweisen, dass nach Entfernung des Knorpels ein weiteres Wachsthum an diesem Knochenende überhaupt nicht stattfindet (Helferich). Experimente, welche darauf ausgehen, die während einer gewissen Periode neugebildete Knochenmasse von dem schon früher vorhandenen Knochen zu unterscheiden, wie die Versuche mit Krappfütterung (Lieberkühn) und die Phosphorfütterung (Wegner) lehren die Anbildung der neuen Knochensubstanz an gewisser Stelle, besonders an der Diaphyse, da wo sie dem Intermediärknorpel anliegt. Alle diese Versuchsresultate beweisen in Bezug auf das Längenwachsthum die Unveränderlichkeit des einmal gebildeten Knochens (der Diaphyse), und die fortwährende Anbildung neuer Knochensubstanz am Diaphysenende vom Intermediärknorpel aus.

Für das Dickenwachsthum lässt sich noch leichter nachweisen, dass dasselbe ganz vom Periost abhängig ist. Werden feine Metallplättchen subperiostal an einem wachsenden Knochen eingefügt, so werden sie bald von einer dünnen Knochenlage bedeckt; je jugendlicher der Knochen, an welchem in dieser Weise experimentirt wird, desto dicker wird mit der Zeit die aufgelagerte Knochenschicht und das Plättchen wandert mehr und mehr in die Knochenwand hinein, bis es schliesslich an der Markhöhlenseite zum Vorschein kommen kann, da hier, entsprechend der Apposition an der Aussenseite, Resorptionsvorgänge eintreten, um die Markhöhle zu vergrössern und ihre definitive Form zu bestimmen.

Alle experimentellen Resultate weisen also auf das Deutlichste darauf hin, dass Längen und Dickenwachsthum der Knochen durch Apposition und Resorption zu Stande kommen, dass interstitielle Processe dabei keine Rolle spielen. Die grob anatomischen und mikroskopischen Verhältnisse haben gleichfalls die letztere nicht nur nicht bewiesen, sondern sogar widerlegt.

Knorpel und Bänder.

Zur Bildung der glatten Oberflächen der Gelenkenden, zur Verbindung der einzelnen Skeletstücke unter einander, findet sich ein von der Knochensubstanz wesentlich verschiedenes Gewebe: das **Knorpelgewebe** verwendet, welches sich durch besondere Biegsamkeit und Zähigkeit auszeichnet. Es enthält nur eine geringe Menge anorganischer Bestandtheile, etwa 2—7 pCt. (Bibra). Seine übrige Masse besteht aus chondringebender Substanz, die ziemlich viel Wasser, zwischen 30 und 46 pCt., enthält.

Die Lebenserscheinungen innerhalb des Knorpels scheinen gering. Die

weit von einander liegenden, durch Zwischenmaterie getrennten Knorpelzellen, der Mangel an Blutgefässen, erklärt dies. Niemals heilt eine Knorpelwunde durch neugebildete Knorpelsubstanz, es bildet sich nur eine bindegewebige Narbe. Es ist dies auffallend, da der Knorpel zu den Formbestandtheilen gehört, welche in pathologischen Neubildungen entstehen können.

J. Arnold studirte, durch Infusion mit indigschwefelsaurem Natron, die Saftbahnen im Knorpel. Der Ernährungssaft wird durch die Gefässe des Perichondriums und Marks zugeführt, in der Intercellularsubstanz dringt er durch enge, zwischen den Fibrillen und Fibrillenbündeln gelegene »interfibrilläre Spalten« vor, welche wieder durch feine in der Knorpelkapsel radiär verlaufende »intracapsuläre Spalten« in den von der Kapsel umschlossenen »pericellulären Raum« einmünden, in welchem die Knorpelzelle von einer sehr dünnen Schicht von Ernährungsmaterial umgeben ist. Budge nimmt nach seinen Beobachtungen ein eigenes festbegrenztes Röhrensystem im Knorpel an, in welchem im Leben Ernährungsflüssigkeit im Zusammenhang mit dem Lymphgefässsystem cirkulire.

Der Zusammenhalt der einzelnen Skeletstücke wird durch einen **Bandapparat** vermittelt, welcher die zusammengehörigen Knochenenden, die Gelenke, mit häutigen, dicht anliegenden Kapseln umschliesst, deren Festigkeit noch durch eigene, seitlich oder im Innern der Gelenke befindliche Bänder verstärkt wird. Zur Herstellung dieses Verbindungsapparates findet sich das elastische Gewebe und das lockige Bindegewebe benutzt, welches sich dazu durch seine grosse Festigkeit besonders eignet, die mit einer grossen Dehnbarkeit bei niederen, mit einer grossen Steifigkeit bei höheren Spannungsgraden verbunden ist. Da das Bindegewebe der Träger der Blutgefässe ist, so vermittelt es überall den Zutritt der ernährenden Gefässe zu den umschlossenen Gebilden. Seine Festigkeit mit Elasticität wird gesteigert durch jenen Härtungsprocess seiner Grundsubstanz, der zur Bildung der elastischen Membranen und Bänder führt.

Aus diesen dreierlei Geweben: dem Knochen-, Knorpel- und lockigen Bindegewebe mit elastischen Elementen, ist der passiv bewegte Theil der Maschine des menschlichen Körpers zusammengesetzt.

Die Gelenke.

Ein Theil des Skeletes ist durch mehr oder weniger unbeweglich mit einander verbundene Knochen gebildet, so dass wir ihn für unsere Betrachtungen zunächst als fest ansehen dürfen: die Knochen des Rumpfes. An diesen sind die eigentlich zur Bewegung dienenden Knochen der Extremitäten beweglich eingelenkt. Uns interessirt hier vor Allem die Verbindungsweise der Extremitätenknochen unter sich und mit dem Rumpfe, da wir vorzüglich die Bewegungsmöglichkeit ins Auge zu fassen haben.

Die Verbindungen der Bewegungsapparate sind im Allgemeinen nach sehr einfachem Principe konstruirt. Zwei Knochen stossen mit freien Endflächen an einander; um die Berührungsflächen zieht sich eine häutige Kapsel, die mit dem einen Ende an dem einen, mit dem anderen an dem zweiten der beweglich mit einander verbundenen Knochen, und zwar am Rande ihrer Berührungsflächen

angeheftet ist. So entsteht an den Berührungsflächen eine vollständig geschlossene Höhle: die Gelenkkapsel. Die Wände dieser Höhle sind vollkommen glatt, ebenso die mit einem Knorpelüberzuge versehenen Gelenkenden, sie werden durch eine eiweiss-, fett- und mucinhaltige Flüssigkeit mit vielen zerfallenen Zellen und etwa 95 pCt. Wasser: die Gelenkschmiere, schlüpfrig erhalten (S. 660). Der Spannung der Gelenkkapseln stehen die das Gelenk umlagernden Muskeln vor.

Der Ausdruck Höhle für das Innere der Gelenkkapsel ist im strengen Wortsinn falsch, insofern diese vollkommen von ihrem Inhalte ausgefüllt ist. Die bei Bewegung etwa zwischen den Gelenkenden entstehenden Lücken werden stets durch die Gelenkflüssigkeit ausgefüllt (König). Da gleichzeitig bei allen Gelenken ein vollkommener Luftabschluss existirt, so werden schon allein durch den Luftdruck die Gelenkenden und die Gelenkkapsel fest an einander angedrückt, so dass sie unter normalen Bedingungen, so lange die Gelenkkapsel nicht zerrissen ist, nicht von einander weichen können. Allen Bewegungen der Knochenenden an einander folgt die Gelenkflüssigkeit und die Membran der Gelenkkapsel, so dass niemals ein hohler, leerer Raum in der Gelenkhöhle entsteht. Diese Verbindungsweise macht den Zusammenhalt der Gelenkenden der Knochen ohne Aufwand von mechanischer Kraft möglich. Die Wirkung des Luftdruckes, der dem Entstehen eines leeren Raumes in den Gelenkkapseln entgegenwirkt, ist so bedeutend, dass sie nicht nur der Schwere der eingelenkten Glieder das Gleichgewicht hält, sondern dass sie noch überdies die Knochen mit einer gewissen Kraft, welche verschieden gross ist, im Oberschenkelgelenk z. B. je nachdem das Becken gegen das herabhängende Bein mehr oder weniger ad- oder abducirt ist (A. E. Fick), an einander drückt. Wir verdanken diese Kenntniss der Luftdruckwirkung in den Gelenken den Untersuchungen der Gebrüder Eduard und Wilhelm Weber. Der Gelenkkopf des Oberschenkels wird mit ziemlicher Kraft in der Pfanne festgehalten, auch wenn alle Weichtheile mit der Kapsel durchschnitten wurden; sobald man aber die Gelenkpfanne vom Becken aus anbohrt und damit der Luft freien Zutritt gestattet, so sinkt der Gelenkkopf aus der Pfanne heraus. Aeby constatirte dasselbe Verhalten für die übrigen wichtigsten Gelenke; er formulirt seine Resultate dahin, dass der Luftdruck an und für sich nach Durchschneidung sämmtlicher das Gelenk umgebender Weichtheile einschliesslich der Kapsel völlig ausreiche, um die Gelenkflächen in Contact und somit die dazu gehörigen Skeletabschnitte in Zusammenhang zu erhalten. (Fr. Schmid gibt an, dass der Luftdruck das Gewicht der Schenkel etwa um $^1/_3$ seines Gewichts übercompensirt.) Durch die Einrichtung, dass die Wirkung des Luftdruckes durch das Gewicht des an dem Gelenke hängenden Gliedes annähernd äquilibrirt ist, können sich die Gelenkflächen fast ohne Reibung an einander bewegen, das Bein kann in seiner Gelenkpfanne fast reine Pendelschwingungen ausführen. Unter diesen Bedingungen ist es nothwendig für ausgiebigere Bewegungen, dass die eine Gelenkfläche ziemlich genau der Abdruck der anderen sei; bei den Bewegungen schleifen oder gleiten diese an einander hin. Fr. Schmid erhärtete wieder (gegen Paletta und König) die vollständige Congruenz der beiden Gelenkflächen des Hüftgelenks. Da die Gelenkflächen selten Abschnitte von Kugelflächen, meist Theile congruenter Rotationsellipsoide sind, so kann eine vollkommene Flächenberührung zwischen

Kopf und Pfanne nur bei dem Zusammenfallen der Rotationsaxen beider eintreten. Ist das nicht der Fall, so müssen grössere oder geringere Zwischenräume zwischen Kopf und Pfanne entstehen (welche König mit Unrecht aus Formverschiedenheiten erklären wollte).

Alle im menschlichen Körper sich findenden Gelenke, welche eine grössere Beweglichkeit zeigen, sind durch das Zusammenstossen sogenannter Rotationsflächen, oder vielmehr Stücke von solchen gebildet, die man sich entstanden denken kann durch Umdrehung einer beliebigen Curve um eine mit ihr fest verbundene gerade Linie. So entsteht z. B. der Cylinder, dessen Schema sich bei den Gelenken verwendet findet, bei den sogenannten Charniergelenken dadurch, dass sich eine gerade Linie um eine mit ihr parallel in derselben Ebene gelegene Linie dreht. Die Abgussfläche des Cylinders, in die er bei der Bildung der Gelenke hineingesenkt ist, kann natürlich auf dieselbe Weise gleichzeitig entstanden gedacht werden, wenn wir uns vorstellen, dass die gedrehte Linie den Cylinder aus einer weichen Masse herausschneidet, wobei zugleich der Cylinder und sein Abguss hervorgebracht wird. Aus diesem Bilde wird am leichtesten durch unmittelbare Anschauung klar, wie bei zusammenstossenden Rotationsflächen, z. B. in den Gelenken, nur solche Bewegungen vorkommen können, die in einer Drehung um die Axe der Rotationsfläche bestehen, wenn eine Entfernung der an einander schleifenden Flächen nicht möglich ist.

Darnach wären die Bewegungen in den Gelenken sehr beschränkt, je nach der Form der zusammenstossenden Gelenkflächen; die Natur ertheilt ihren Gelenken dadurch eine grössere und mannigfaltigere Beweglichkeit als die Mechanik, dass sie bei allen ihren mechanischen Einrichtungen sich nicht an geometrische Strenge der Ausführung bindet. Ein Charniergelenk, das nur Bewegung in einer Richtung zulassen sollte, konnte sonach auch in anderen Richtungen eine wenn auch beschränkte Beweglichkeit erhalten. Es entstehen so die: gemischten Gelenke der Anatomie.

Am freiesten ist die Beweglichkeit derjenigen Gelenke, bei denen die zusammenstossenden Flächen Abschnitte ein und derselben Kugel sind: der Kugelgelenke; der eine Knochen besitzt eine convexe, der andere eine concave Gelenkfläche, welche genau auf einander passen wie bei dem Hüftgelenke, dem Schultergelenke. Diese Gelenke zeigen im Gegensatz zu den anderen Gelenken, welche nur eine Bewegung nach bestimmter Richtung gestatten, eine allseitige Beweglichkeit. Vor allen sonstigen Rotationsflächen ist nämlich die Kugel, — sie ist entstanden, indem sich ein Halbkreis um seine Axe, diese als feststehende Linie gedacht, dreht — dadurch ausgezeichnet, dass sie mit ihrem als festgestellt gedachten Abguss (der Gelenkpfanne) in allseitiger Berührung bleibt, nicht nur bei der Drehung um eine bestimmte Axe, sondern bei der Drehung um jede beliebige Linie als Axe, welche durch den Mittelpunkt der Kugel geht. Jede Axe der Kugel kann als Drehungsaxe verwendet werden. Bei den Bewegungen solcher concaver und convexer Kugelflächen an einander bleibt nur der Mittelpunkt der Kugel unbeweglich, bei den Bewegungen des Cylinders in einem Cylinderausschnitte ist es eine Linie, die Cylinderaxe, welche als ruhend bei dem Aneinanderschleifen gedacht werden muss. Die Gelenke mit Kugelflächen können sonach alle Bewegungen ausführen, bei denen der Mittelpunkt der Kugelflächen unbewegt bleibt. Nach Schmid (cf. oben) sind aber die meisten Gelenkflächen nicht Abschnitte congruenter Kugelflächen, sondern Theile congruenter Rotationsellipsoide.

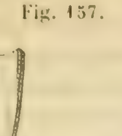
Der Bau der Extremitätengerüste.

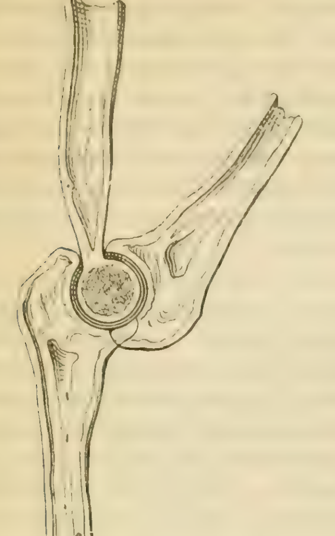
Die in der angegebenen Weise verbundenen Knochen stellen Hebel dar, durch deren Bewegung in bestimmten Richtungen Lasten gehoben, gestützt oder geschoben etc. werden können.

Die oberen und unteren Extremitäten zeigen in ihrem Baue eine unver-

kennbare Analogie. Doch finden sich zwischen beiden Modificationen, welche ihren verschiedenartigen Leistungen entsprechen. Während die Beine als feste Tragsäulen des Rumpfes oder zur Ortsbewegung desselben dienen, haben die Arme die

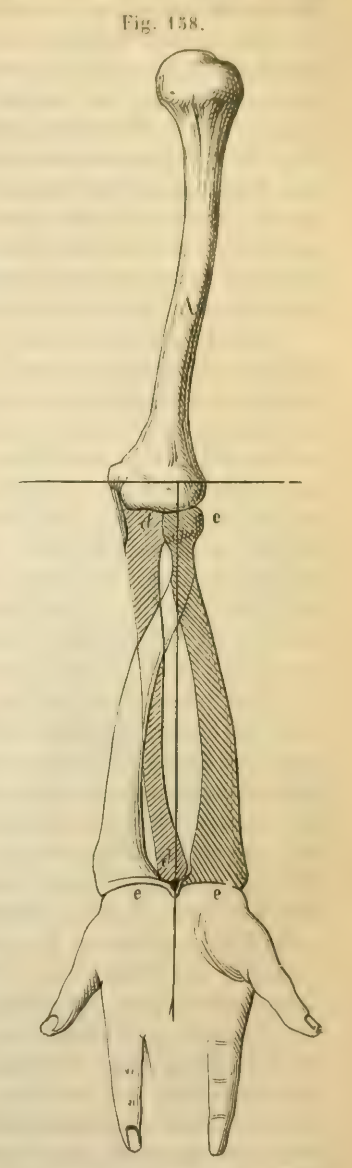
Fig. 157.





Schema des Ellenbogengelenkes in grösster Beugung und Streckung.

Fig. 158.



Schema der Bewegungen des Unterarmes; sie erfolgen um die beiden gezogenen Axen.

Aufgabe des Ergreifens, Festhaltens, Abwehrens äusserer Objecte von dem Gesammtkörper. Wir werden demnach die Beine in ihrer Structur fester, in ihren Bewegungen stabiler erwarten dürfen als die Arme, die eine geringere Festigkeit, dagegen eine grössere Beweglichkeit für ihre mannigfaltigeren Verrichtungen verlangen.

Das **Armgerüst** ist ein gegliederter Stab, welcher mit dem Rumpfe durch das freieste Gelenk des ganzen Körpers, das **Schultergelenk**, zusammenhängt. Die hohe Beweglichkeit des Schultergelenkes beruht vor Allem darauf, dass es ein sogenanntes **Kugelgelenk** ist, das aber insofern hier eine Besonderheit zeigt, als der Gelenkkopf zwar den grössten Theil einer Kugelfläche darstellt, die Pfanne aber nur ein sehr kleines Stück der entsprechenden Hohlkugel. So wird also durch den knöchernen Theil des Gelenkes die Beweglichkeit weit weniger beschränkt, als es der Fall wäre, wenn die Pfanne als starre Knochenkapsel den grössten Theil des Gelenkkopfes, wie bei den Nussgelenken der Mechanik, umgreifen

würde. Das Festhalten des Armes in seinem Schultergelenke ist dem Luftdrucke mit Hülfe der umschliessenden dehnbaren Kapsel übertragen. Es kann also eine Drehung des Armes in diesem Gelenke nach allen Richtungen um den Mittelpunkt der Kugelgelenkfläche stattfinden.

Die beiden Hauptabschnitte des Stabes — Ober- und Unterarm — sind durch ein Charniergelenk mit einander verbunden, welches eine fast beliebige Beugung der beiden Abschnitte, die Streckung aber nicht weiter gestattet, als bis Oberarm und Unterarm eine gerade Linie mit einander bilden (Fig. 157). Die Rückwärtsbewegung über die gerade Linie hinaus ist durch eine Hemmungsvorrichtung, einen Sperrhaken: das Olekranon, unmöglich gemacht. Es wird durch diese Einrichtung der Arm in der ausgestreckten Lage zu einem festen steifen Stab, an dessen vorderem Ende eine Last ziehen kann, ohne ihn zu biegen; der ganze Arm kann sonach unter diesen Umständen als ein einfacher, starrer Hebel benutzt werden.

Das Ellenbogengelenk zwischen Oberarmknochen und Ulna, welche als Hauptunterarmknochen zu betrachten ist, besitzt wie gesagt nur eine beschränkte Beweglichkeit, die nur Beugung zulässt. Dadurch, dass das Unterarmknochengerüste aus zwei neben einander liegenden, gegen einander drehbar verbundenen Knochen: Ulna und Radius, gebildet ist, konnte dem Unterarm noch eine Drehung, Torsion, um seine Längsaxe ermöglicht werden, welche freilich weniger mit den Functionen des Armes als mit denen der an dem Unterarme ansitzenden Hand zu thun hat (Fig. 158). H. WELCKER fasst die Pro- und Supinationsbewegung nicht als Rotation, sondern als Charnierbewegung auf. Die Axe des Charniers gehe von der Mitte des Radiusköpfchens zum Stylfortsatz der Ulna. Gehe man von der Parallelstellung beider Knochen aus, so bewirke eine Dorsalflexion des Radius Supination, Volarflexion Pronation.

Die Hand ist ein vielfach gegliederter Mechanismus, dessen bewegliche Gelenkverbindung Beugung und Streckung, Adduction und Abduction gestattet. Da sich alle Bewegungsmöglichkeiten, die sich bei den einzelnen Gelenkverbindungen finden, vom Schultergelenke an bis zum Handgelenke summiren, so hat die Hand die ausgedehnteste Bewegungsmöglichkeit. Die Zahl der Verrichtungen, deren die Hand fähig ist, beruht auf der Mannigfaltigkeit ihrer möglichen Bewegungen als Ganzes und ihrer einzelnen Theile. Die Hand besteht aus fünf an ihren Enden verbundenen, gegliederten Stäbchen, welche auf einem mosaikartig gebauten Knochenstücke, der Handwurzel, in einer Reihe neben einander befestigt sind. Jedes solche Stäbchen besteht zunächst aus einem Grundgliede, dem Mittelhandknochen, von denen vier ziemlich unbeweglich mit einander verbunden sind und somit ein tellerartiges Organ: den Handteller darstellen. Der Mittelhandknochen des Daumens zeigt dagegen eine grosse Beweglichkeit, auf welcher, vereinigt mit der ebenfalls vorhandenen geringen Beweglichkeit des Mittelhandknochens des kleinen Fingers, die Möglichkeit der Zusammenbeugung des Handtellers zu einer rinnenartigen Vertiefung und die Gegenüberstellbarkeit des Daumens beruht. Auf den unteren Enden der Mittelhandknochen sitzen die Knochen der Finger frei beweglich auf. In den Gelenken der Finger- und Mittelhandknochen ist ausser Beugung und Streckung bis oder etwas über die Gerade auch noch Ab- und Adduction möglich, die einzelnen Fingerglieder besitzen nur die Fähigkeit der Beugung und Streckung. Mittelst

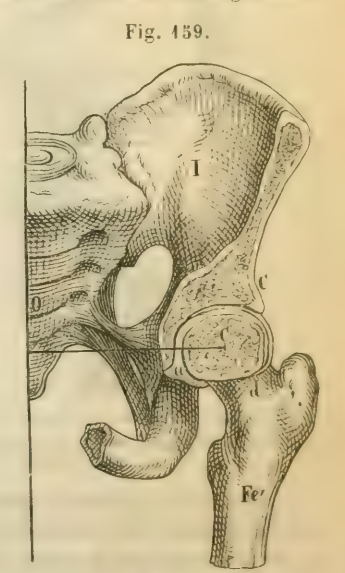
der Finger kann sich die Hand zum hohlen Gefässe, zur Faust, zum Haken und mit Hülfe des gegenüberstellbaren Daumens zur Zange, zum Ring gestalten, je nach dem Bedürfnisse, welchem durch die Bewegung genügt werden soll.

Die Vielfachheit der Bewegungsmöglichkeiten und wirklich ausgeführten Bewegungen des Armes und der Hand hat bisher eine vollkommen genaue mechanische Analyse derselben noch vereitelt. So mag diese Skizze genügen, um ein Bild der mechanischen Verhältnisse, die sich hier ergeben, zu entwerfen.

Die Functionen der unteren Extremitäten sind weit einfacherer Art als die der Arme. Sie beschränken sich auf die Unterstützung des Rumpfes bei dem Stehen und die Fortbewegung desselben bei den verschiedenen Arten des Gehens. Es war möglich, diese Verrichtungen vollkommen auf ihre mechanischen Grundbedingungen zurückzuführen. Das entscheidende Verdienst in dieser Richtung gebührt den oben genannten Gebrüdern Weber, deren Arbeiten als Grundlage für alle mechanischen Erläuterungen der Bewegungen des animalen Gesammtkörpers dienen müssen.

Ueberblicken wir auch hier vorerst den Bau der Bewegungsglieder, so sehen wir die Vermuthung, dass sie im Verhältnisse zu den Armen eine grössere Festigkeit ihres Gerüstes besitzen würden, vollkommen bestätigt. Nicht nur sind die einzelnen das Skelet der Beine bildenden Knochen massiver und stärker, auch ihre Gelenkverbindungen zeigen eine grössere Festigkeit auf Kosten ihrer Beweglichkeit.

Fig. 159.



Hälfte eines menschlichen Beckens nach Weber. *a* Ligamentum teres, Linie *c* Drehungsaxe des Beckens im Schenkelkopf.

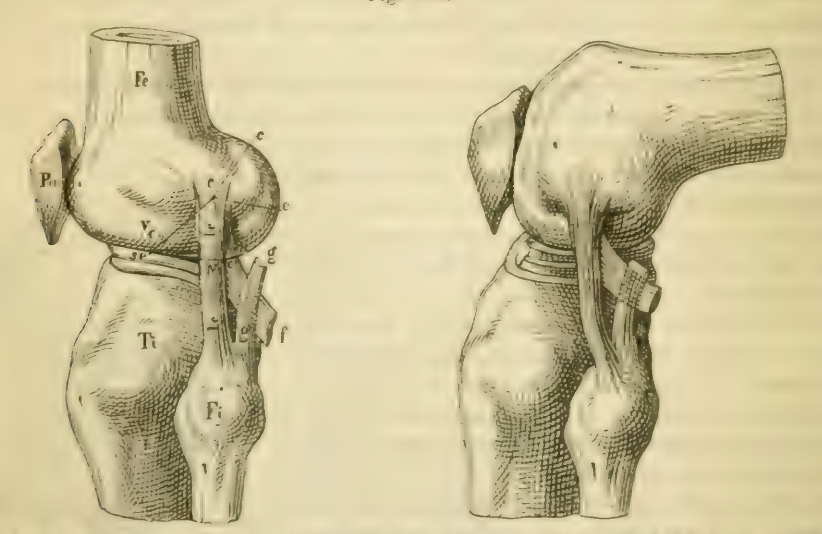
Die Freiheit der Bewegungen der Arme ist schon dadurch eine bedeutende, dass sie durch ein System beweglich unter einander und mit dem Rumpfe verbundener Knochenstücke, Schulterblatt und Schlüsselbein, mit dem starren Rumpfe verbunden sind. Die Beine artikuliren an dem fast unbeweglich verbundenen Knochenring des Beckens, in dessen hinteren Umfang die Wirbelsäule fest eingeklemmt ist. Das Becken bildet die starre Basis des Rumpfes, mit welcher letzterer auf seinen Tragsäulen ruht.

Die Beine sind wie die Arme mehrfach gebrochene Stäbe. Die Art der Gelenkverbindungen zeigt ebenfalls eine unverkennbare Aehnlichkeit.

Das Gelenk zwischen Oberschenkelknochen und Becken, das Hüftgelenk, ist wie das Schultergelenk ein Kugelgelenk und zwar ein wirkliches Nussgelenk, das, wie schon angegeben, durch das Uebergreifen des Pfannenrandes über den grössten Theil des Gelenkkopfes die Beweglichkeit zwar allseitig möglich macht, sie aber doch nach allen Richtungen ziemlich beschränkt (Fig. 159). Auch hier ist die eigentliche knöcherne Hohlfläche des Gelenkes ein weit geringeres Stück einer Kugelfläche als die Gelenkfläche des Oberschenkelkopfes. Ein dem Pfannenrande aufgesetzter Knorpelring umgreift den Gelenkkopf in grösserer Ausdehnung. Die Bewegungen werden in dem

Hüftgelenke gehemmt durch eine sehnige Kapsel, welche bei Bewegungen gespannt und gedreht wird, ihre vordere Wand wird durch das feste Ligamentum ileo-femorale verstärkt, welches eine Rückwärtsbiegung des Rumpfes bei feststehenden Beinen durch seine Anspannung verhindert. H. WELCKER unterscheidet vier Verstärkungsbänder des Hüftgelenks: Lig. ileofemorale anterius und superius, Lig. pubofemorale und Lig. ischiofemorale. Es sind das diejenigen Faserzüge der Kapsel, welche sich bei stärkster Streckung des Femur am meisten spannen. Streckt man das Bein aus der mittleren Lage, in welcher die Verstärkungsbänder erschlafft sind, so winden sich diese spiralig um den Schenkelhals und pressen diesen in die Pfanne ein. Davon rührt es her, dass bei Streckung und Beugung sich der Schenkelkopf in der Pfanne wie eine Schraube in einer Schraubenmutter bewegt.

Fig. 160.



f Sehne des Musculus popliteus. *le* Ligamentum laterale externum. *cc*, *cc IV*, *cc V* die zunehmenden Halbmesser des Kondylus. *gg* ein eigenthümliches Band, das von der Fibula zur Kapsel in der Kniekehle geht, und die Sehne *f* des Musculus popliteus in einer bestimmten Lage erhält.

Das Kniegelenk gestattet durch diese Einrichtung, die man seit längerer Zeit schon als Schraubengelenk oder Spiralgelenk bezeichnete, eine Beugung in ziemlicher Ausdehnung, die Streckung jedoch nur bis zur geraden Linie mit dem Oberschenkelbeine, ohne dass wir hier eine ähnliche Hemmungsvorrichtung wie das Olekranon am Ellenbogengelenk antreffen. Während der Streckung ist nur Beugung in dem Kniegelenk auszuführen. Bei gebogenem Knie kann der Unterschenkel auch nach auswärts und vorwärts gedreht werden. Bei höchster Streckung macht der Unterschenkel gleichfalls eine leichte Drehung nach aussen (Supination), die Beugebewegung beginnt mit einer Pronation, was nach AEBY und ALBRECHT nicht sowohl auf dem Abwickeln des Gelenkschraubenganges als auf gewissen Spannungsverhältnissen der Kreuzbänder beruht). Die Drehung des Unterschenkels an dem Oberschenkel bei gebogenem Gelenk erfolgt durch eine Drehung des äusseren Kondylus um den inneren. AEBY und ALBRECHT erklären neuerdings die Contactlinie der beiden Kondylen nicht für eine Spirale,

sie entsprechen dagegen zwei sich an einander schliessenden Kreisen von verschiedenem Halbmesser.

Die Beschränkung der Beweglichkeit im Knie beruht wie bei dem Hüftgelenk auf der Anwesenheit von Gelenkbändern, die nach bestimmten Richtungen, je nach den Stellungen des Beines hemmend wirken. Bei gestrecktem Knie sind es die starken Seitenbänder, bei gebogenem die Kreuzbänder, welche dem Gelenk seine Festigkeit geben und die Bewegungen theilweise beschränken. Die beiden Seitenbänder spannen sich bei der Streckung des Knies an und erschlaffen bei der Beugung. Der Grund dafür liegt darin, dass in der gestreckten Stellung der Abstand des Knochens von der Berührungsfläche bis zum Ansatzpunkte des Bandes grösser ist als in der Beugung des Gelenks. Die Gelenkfläche des Kondylus ist nämlich von vorn nach hinten nicht sphärisch, sondern mit zunehmendem Halbmesser gekrümmt (cf. oben Aeby), so dass dadurch bei einer übermässigen Streckung die Ansatzpunkte des Bandes sich von einander entfernen müssen (Fig. 160). So wird durch die Spannung der Seitenbänder eine weitere Streckung, wie eine Drehung des Unterschenkels vermieden. Die Kreuzbänder haben die Aufgabe, die Oberschenkelgelenkfläche bei allen Graden der Beugung auf der Tibialgelenkfläche festzuhalten.

Der Fuss bildet eine breite, feste Unterstützungsfläche, auf welcher der Gesammtkörper mittelst seiner Beine schliesslich ruht. Er zeigt trotz seiner Festigkeit eine ziemliche Beweglichkeit, der bei dem Gehen eine nicht unbedeutende Rolle übertragen ist. Die beiden Gelenke zwischen Unterschenkel und Talus und zwischen Talus und Fuss erlauben ihm Streckung und Beugung, sowie Abduction und Adduction, Supination und Pronation, ohne dass diese verschiedenen Bewegungsmöglichkeiten störend auf die Festigkeit des Ganzen einwirkten, was besonders dadurch erreicht ist, dass diese mannigfachen Bewegungen nicht mit einem Gelenke vollführt werden können, sondern auf die genannten beiden Gelenkverbindungen vertheilt sind.

Das Gelenk zwischen Unterschenkel und Talus gestattet nur Beugung und Streckung und ist ein Charniergelenk; der Gelenkcylinder gehört dem Talus an; er wird von den beiden gabelförmig herabragenden Knöcheln umfasst und fixirt, worin sie, wie das in analoger Weise am Kniegelenke der Fall ist, durch straffe Seitenbänder unterstützt werden.

Die übrigen Bewegungen werden in dem Gelenke des Talus mit dem Fusse ausgeführt, das eine sehr complicirte Gestalt besitzt und, wie es scheint, aus zwei Kugelgelenken zusammengesetzt ist. Sein Bau scheint noch nicht vollkommen aufgeklärt. Auch hier hält ein fester Bandapparat die Knochen in ihrer gegenseitigen Lage.

Der Fuss, der wie die Handwurzel auch aus einer, aber etwas beweglicheren Mosaik von kurzen Knochen zusammengesetzt ist, stellt ein Gewölbe dar, mit der Concavität dem Boden zugekehrt, auf dem es mit nur drei Punkten aufruht: mit dem Körper des Fersenbeines, mit dem Köpfchen des ersten und dem des letzten Mittelfussknochens. Die Abflachung des Gewölbes wird trotz der Gelenkverbindungen der dasselbe darstellenden Knochen durch einen Bandapparat gehindert.

Die Zehen sind die Analoga der Finger; sie dienen aber nicht wie jene zum Ergreifen und Festhalten, sondern für gewöhnlich nur zur Verlängerung

und Verbreiterung der Unterstützungsfläche des Körpers. Ihre Beweglichkeit passt die Unterstützungsfläche den Unebenheiten des Bodens möglichst vollkommen an, so dass auch auf unebenem Boden ein Feststehen ermöglicht wird. Ihre Beugung und Streckung verwandelt die Unterfläche des Fusses je nach Bedürfniss in eine ebene oder halbradartig gekrümmte Fläche, wodurch sie den Akt des Gehens wesentlich unterstützen.

Die Leistungen des menschlichen Bewegungsmechanismus.

Wir haben im Vorstehenden den Bau der Bewegungsmaschine des menschlichen Organismus in seinen wesentlichsten Zügen kennen gelernt. Eine nähere Beschreibung der hier berührten Verhältnisse gehört nicht in die Physiologie, sondern in die Anatomie, worauf wir für eingehendere Studien verweisen müssen.

Wie es bei den Beschreibungen der von der Technik benutzten Maschinen gebräuchlich, haben auch wir den Zweck der animalen Maschine bei der Betrachtung in den Vordergrund gestellt. Freilich war es uns unmöglich, auch nur einigermassen vollkommen die mechanischen Einrichtungen zu zergliedern, die sich so unendlich mannigfaltig finden, wie die Verrichtungen des menschlichen Körpers selbst. Doch haben wir ein Bild gewonnen von den allgemeinen Verhältnissen, auf denen die Möglichkeit dieser vielseitigen Leistungen beruht. Auch hier sehen wir die Natur mit weit einfacheren Mitteln zum Zwecke gelangen, als es die Mechanik vermag.

Die Charniergelenke der Natur lassen fast alle nach den neueren Untersuchungen noch andere als Charnierbewegungen zu, besonders geringe Schraubenbewegungen, bei denen sich der Cylinder auf seinem Ausschnitt wie eine Schraube in ihrer Mutter abwindet. Das Knie- und Ellbogengelenk bieten dafür Beispiele. Meissner hat nach der Methode von Langer durch das Gelenkende der Ulna Stifte so eingeschlagen, dass sie mit der Spitze eben in die Gelenkhöhle hineinragten. Bei den Bewegungen und Streckungen in dem Ellbogengelenke ritzten sie so Spurlinien auf die convexe Gelenkfläche des Oberarmknochens, die sich als Theile eines Schraubengewindes darstellen. Der Gelenkcylinder des Oberarmes ist somit eine Schraube, die sich in der Schraubenmutter der concaven Gelenkfläche der Ulna abwindet. Aehnlich ist es im Kniegelenke, das schon auf den ersten Blick etwas von einer schraubenartigen Einrichtung erkennen lässt.

Wie sinnreich und in der Mechanik unbenutzt sind die Befestigungen der Gelenkenden an einander durch Luftdruck, dessen Stärke mehr als hinreichend ist, das Gewicht der an den Gelenken hängenden Extremitäten zu äquilibriren, so dass die Bewegungen fast ohne Reibung möglich sind.

Als Hemmungsapparate der Bewegung findet sich nur am Ellbogengelenke ein eigentlicher mechanischer Sperrhaken, das Olekranon; bei allen anderen Gelenken sind dazu nur die zur Befestigung der Gelenkenden dienenden Bandapparate verwendet, welche vermöge ihrer elastischen Eigenschaften bei höheren Spannungsgraden eine weitere Ausdehnung nicht mehr gestatten. Wie einfach ist ihr straffes Anspannen zur Hemmung erreicht; bei dem Kniegelenke sahen wir eine leise Abweichung der Gelenkhöcker von der mathematischen Gestalt hinreichen, die Seitenbänder bei der einen Stellung stärker, als bei der anderen zu spannen, und damit gewisse Bewegungen gestatten oder verbieten, je nach dem geforderten Zwecke einer jeden Gelenkstellung. Wir sehen damit die Beine, scheinbar allen Regeln der Mechanik spottend, obwohl sie Tragsäulen des gesammten Körpers sein sollen, aus mehrfach gegliederten, gegen einander beweglichen Abschnitten bestehen, je nach Bedürfniss in steife, unbewegliche Stützen verwandelt oder im Ziekzack gebogen, je nachdem sie zum Stehen oder zum Fortbewegen des Körpers dienen sollen.

Der Organismus wird hier, wie überall, vor der Maschine dadurch charakterisirt, dass wir an ihm zwar eine strenge Gesetzmässigkeit im Allgemeinen überall bethätigt finden, aber innerhalb dieser Gesetze an allen Orten die grösste Freiheit jeder individuellen Gestaltung Raum gebend. Bei den Maschinen der Mechanik sind wir gewöhnt, die Vollkommenheit darnach zu beurtheilen, wie genau nach Form, Lage, Maass die einzelnen Theile einander und dem vorgeschriebenen Plan entsprechen. In dem Organismus finden wir nirgends diesen äusserlichen Schematismus, der nur für oberflächliche Betrachtung zugleich Vollendung ist.

Mit einer vollkommenen Erkenntniss des Baues der Bewegungsmaschine müssen sich ihre Leistungen auf einfache, mechanische Gesetze zurückführen lassen.

Der Gedanke, dass die Verrichtungen des menschlichen Körpers unter die Gesetze der Mechanik fallen, dass sie auf mechanischem Wege zu Stande kommen, ist ein schon sehr alter. Man hatte die Organismen mit Maschinen freilich sehr complicirter Art verglichen; man hatte versucht, Maschinen — Automaten —, welche die Bewegungen des menschlichen Körpers ausführten, zu bauen, und zwar unverkennbar mit der wissenschaftlichen Absicht, auf diesem Wege einen Einblick in das mechanische Problem des Organismus zu erhalten. Die physiologische Physik wendete sich schon seit geraumer Zeit diesen Vorgängen zu, die einer mechanischen Erklärungsweise vor allen anderen thierischen Functionen am leichtesten zugänglich schienen. Noch immer ist aber für die Mehrzahl der Bewegungen des Körpers diese Erkenntniss nicht vollkommen erreicht.

Die zwei Hauptfunctionen der Beine: als Stützen und als Bewegungsorgane des Gesammtkörpers zu dienen, sind in sehr vollkommener Weise in ihren mechanischen Verhältnissen erklärt worden. Es sind die schon mehrfach citirten Untersuchungen der Gebrüder Weber über die Mechanik der menschlichen Gehwerkzeuge, denen wir diesen Fortschritt der Wissenschaft vor Allem verdanken.

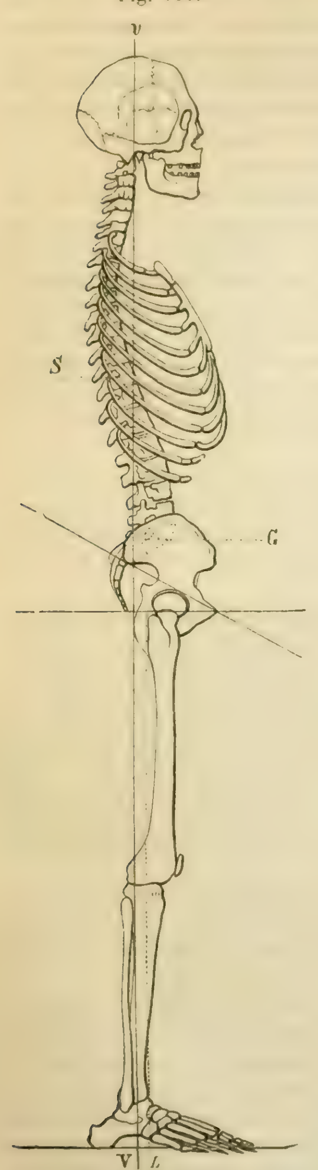
Wenden wir unsere Aufmerksamkeit zuerst auf die **Mechanik des Aufrechtstehens.** Es ergibt sich aus den Untersuchungen über diesen Gegenstand, die im Anschluss an die Untersuchungen der Gebrüder Weber vor Allem von H. Meyer ausgeführt wurden, dass zum Zustandekommen eines natürlichen ungezwungenen Stehens fast einzig und allein die mechanischen Einrichtungen der passiv bewegten Körpertheile des Skeletes ausreichen, so dass wir dieses Stehen als die aufrechte Ruhelage des menschlichen Körpers bezeichnen können. Dass es trotzdem nicht ganz ohne Anwendung aktiv bewegender Organe — der Muskeln — möglich ist, beweist, ausser dass nur der belebte Körper aufrecht gestellt werden kann, die Ermüdung, welche nach längerem Stehen eintritt und einen Aufwand von Kraft bekundet.

Zum Stehen ist es erforderlich, dass der Oberkörper auf den als steife Stützen wirkenden Beinen im Gleichgewichte getragen wird, dass also die senkrechte Linie, welche wir durch den Schwerpunkt des Körpers zur Unterstützungsfläche herab uns gezogen denken können, die Schwerlinie, innerhalb des von den Füssen umspannten Raumes hereinfällt.

Bei dem natürlichen Stehen, bei welchem diesen Bedingungen genügt ist, bilden die Füsse einen nach vorne offenen Winkel von etwa 50⁰. Die Unterschenkel sind parallel gestellt, die Oberschenkel stehen in der Verlängerung der Unterschenkel, beide bilden mit einander senkrecht stehende Säulen. Die Schwerlinie durch den Schwerpunkt des gesammten Körpers mit den Beinen, der nach Ed. Weber im Promontorium, nach Meyer im Canal des zweiten Sacralwirbels liegt, fällt nur wenig hinter die Drehaxe der Kniegelenke und nur wenig vor eine Linie, durch welche wir die Fuss-Unterschenkelgelenke mit einander verbinden können. Der Schwerpunkt des Rumpfes allein liegt nach Horner vor der Mitte des zehnten Rückenwirbels, wenn die Arme am Rumpfe herabhängen, die Wirbelsäule gestreckt und der Kopf festgestellt ist. Eine durch ihn auf die Unterstützungsfläche gezogene Schwerlinie fällt ziemlich weit hinter die Drehpunkte der Hüftgelenke, weniger weit hinter die Drehaxe der Kniegelenke. Dies rührt daher, dass der Rumpf im Hüftgelenke ziemlich stark hinten übergelehnt ist.

Die mechanischen Bedingungen dieser Stellung sind folgende. Die Stellung im Hüftgelenke ist fixirt durch die Wirkung des Ligamentum ileofemorale superius. Denken wir uns die Drehpunkte der Huftgelenke durch eine horizontal von rechts nach links laufende Gerade verbunden, so stellt diese eine Axe dar, um welche der Rumpf nach vor- oder rückwärts gedreht werden kann. Der Rumpf ist bei dem Stehen nach hinten übergeneigt, die Schwere wird ihn noch weiter nach hinten zu drehen bestrebt sein, diesem Drehungsbestreben wirkt das Ligamentum ileofemorale entgegen, welches sich bei der Rückwärtsdrehung anspannt und diese damit über einen bestimmten Grad hinaus bei feststehenden Beinen verhindert. So bildet vermittelst dieses Bandes der Rumpf mit den Oberschenkeln ein in sich festes System, das auf den Unterschenkeln, auf den Kniegelenken balancirt. Der Schwerpunkt des Rumpfes mit den Oberschenkeln fällt etwas, aber nur sehr wenig, hinter die Drehaxe des Kniegelenkes, das sich während der Streckung mit möglichst breiten Flächen berührt. Es genügen nur sehr geringe mechanische Einrichtungen, um dem geringen Zug der Schwere, welche wegen der Lage der Schwerlinie die Knie zu beugen bestrebt ist, das Gleichgewicht zu halten. Auch hier wirkt vor Allem Bänderspannung, die Spannung des Ligamentum ileotibiale (der Fascia lata) und die Spannung des schon genannten Ligamentum ileofemorale. Das Ligamentum ileofemorale hält das Becken und die Oberschenkel in ihren gegenseitigen Lagen fest, die sich bei der Beugung im Kniegelenke verändern müssen; das Ligamentum ileotibiale spannt sich gegen eine Kniebeugung in ähnlicher Weise an, wie das Ligamentum ileofemorale bei der Rückwärtsbeugung des Rumpfes, so dass der Rumpf mit den Oberschenkeln in analoger Weise wie dort von diesem Bande gehalten wird.

Fig. 161.



S Schwerpunkt des Rumpfes; *v. v* die durch ihn senkrecht gezogene Schwerlinie; *G* gemeinsamer Schwerpunkt; *G L* senkrechte Linie auf den gemeinsamen Schwerpunkt.

Alle die bisher besprochenen Momente, welche den Rumpf mit den Beinen zu einem festen Systeme verbinden, widersetzen sich der Beugung im Fussgelenk, da mit einer solchen Stellungsveränderungen in den durch Bänderspannung fixirten Gelenken eintreten müssten. Eine Beugung im Fussgelenk (Astragalusgelenk) wird durch die Lage der Schwerlinie des Gesammtkörpers, welche vor das genannte Gelenk fällt, angestrebt. Einer solchen widersetzt sich die Gestalt der Gelenkflächen, indem bei der Beugung das vordere breitere Ende der Astragalusrolle immer mehr zwischen die Knöchel eingekeilt wird, so dass die beiden Unterschenkelknochen, die sich bei der Streckung des Unterschenkels etwas um einander rotiren und dadurch die Rolle schräg umgreifen, stark an die Rolle angepresst werden.

Die Art der Stellung der Füsse auf dem Boden ist schon oben angegeben.

Nach der bisher gegebenen Darstellung bedarf das Aufrechtstehen, die aufrechte Ruhelage des Körpers keiner äusseren Kräfte; das System des Gesammtkörpers wird zu einem

vergleichsweise starren bei der betrachteten Stellung. Das Gleichgewicht in den Gelenken ist jedoch unter allen Umständen nur ein sehr labiles; um der Stellung eine grössere Festigkeit zu geben, werden auch noch äussere Muskelkräfte zur Feststellung der Gelenke verwendet. Im Hüftgelenke ist die Stellung an sich am gesichertsten. Die Auswärtsrollung der Oberschenkel beim Stehen, das Sicherstellen gegen weitere Rotation des Rumpfes besorgt der M. glutaeus maximus. Am Kniegelenke wird die Spannung des Ligamentum ileotibiale (der Fascia lata), an das sich bekanntlich der M. glutaeus maximus inserirt, durch die Contraction dieses Muskels verstärkt, so dass seine besprochene Wirkung eine sicherere ist. In dem Fussgelenke wirken die Wadenmuskeln (Mm. gastrocnemii) und die vom Unterschenkel zum Fuss laufenden Muskeln: Mm. tibialis posticus, peronaei postici, soleus, einer Beugung entgegen. Wir dürfen die Wirkung dieser Muskeln nicht überschätzen. Sie haben nur die Aufgabe, bei etwa eingetretenen Störungen der an sich durch das Skelet mit seinen Bändern schon gegebenen Gleichgewichtslage der einzelnen Körperabschnitte zu einander die Balance wieder herzustellen. Das ungezwungene Stehen ist durch die mechanischen Einrichtungen des Körpergerüstes fast allein schon möglich gemacht.

Wie es uns möglich war, die Mechanik des Stehens abgesehen von eingehender Betrachtung der aktiv auf das Skelet wirkenden Kräfte zu verstehen, so wird uns das auch bei der noch wichtigeren Körperfunction, auf welcher mechanische Hauptleistungen des menschlichen Körpers beruhen, gelingen, bei der Darstellung **der Mechanik des Gehens** und der verwandten Bewegungen.

Wir verstehen nach den Untersuchungen der Gebrüder Weber unter natürlichem Gehen diejenige Gangart, bei welcher vermittelst seiner unteren Extremitäten mit möglichst geringem Kraftaufwande der menschliche Körper nahezu horizontal über einen ebenen Boden mit fast gleichbleibender Geschwindigkeit fortgetragen wird.

Hierbei wirken verschiedene Kräfte auf den Körper, von denen die einen beschleunigend, die anderen verzögernd wirksam werden. Die erste ist die Schwerkraft, welche die vertikal abwärts gerichtete Geschwindigkeit beschleunigt, und die durch eine Kraft, welche in senkrechter Richtung den Körper stützt, äquilibrirt werden muss, um den Rumpf weder steigen noch sinken zu lassen. Die andere ist der Luftwiderstand, der die Bewegungen in jeder Richtung verzögert. Die dritte ist die Streckkraft je eines Beines, welche nicht nur den Luftwiderstand überwindet, sondern auch die ganze Masse des Körpers vorwärts schiebt.

Die Bewegung eines Kahnes mit Hülfe einer Ruderstange auf stehendem Wasser kann ein Bild für einen Theil der Bewegungen abgeben. Der Schwerkraft, welche auf den Kahn wirkt, wird durch das Wasser das Gleichgewicht gehalten; bei dem Gehen übernimmt diese Function abwechselnd das eine Bein, auf das sich der Körper stützt. Die Ruderstange wird schief gegen den Boden angestemmt mit einer bestimmten Kraft, welche genügt, den Kahn fortzustossen; diesen Theil der Arbeit übernimmt stets das zweite Bein, das gerade nicht zur Stütze dient. So ist das Gehen je aus drei Abschnitten zusammengesetzt: aus zwei aktiven, Stützen und Fortstossen, und aus einem passiven, der darin besteht, dass die Extremität, welche eben nicht zum Fortstossen benutzt wird, sich durch gewisse Stellungsveränderungen zu dieser Thätigkeit vorbereitet.

Das Mittel zur Ausführung der Bewegung ist die Streckung zweier in entgegengesetzter Richtung gebogener Gelenke, des Kniegelenkes und des Fussgelenkes, wodurch aus einem im Winkel gebogenen ein gerader, also wesentlich längerer Stab erzeugt wird: auf dieser plötzlichen Verlängerung beruht das Vorwärtsschieben des Rumpfes (Fig. 162). Der Körper würde dabei nach vorwärts fallen, wenn nicht gegen Ende der Projection die zweite Extremität als Stütze sich gegen das Fallen unterstellen würde. Beide Extremitäten wechseln mit dem Tragen und Bewegen der Last ab. Da das Vorwärtsschieben stets nur von einem Beine aus erfolgt, also etwas von einer Seite her, so würde der Stoss den Körper nicht nur vorwärts, sondern auch etwas zur Seite bewegen, wenn nicht stets der Arm auf der Seite des fortstossenden Beines vorwärts fiele und damit den Schwerpunkt etwas nach dieser Seite verschöbe.

Fig. 162.

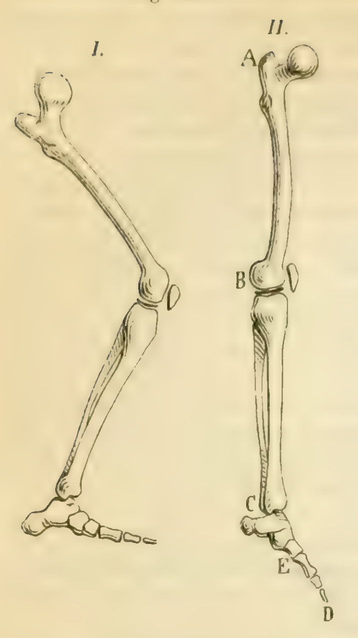
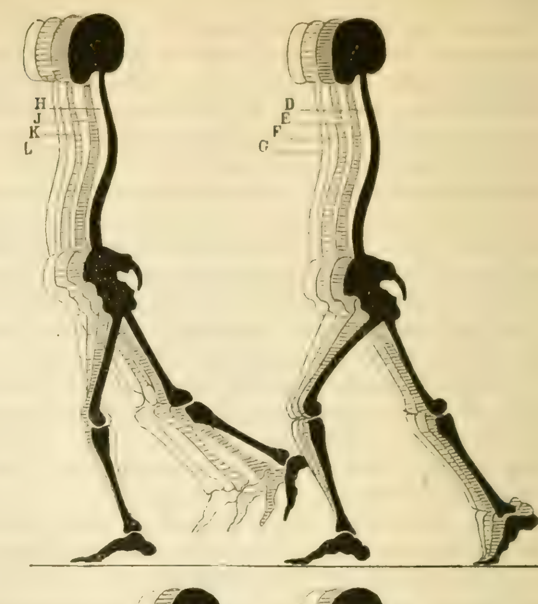
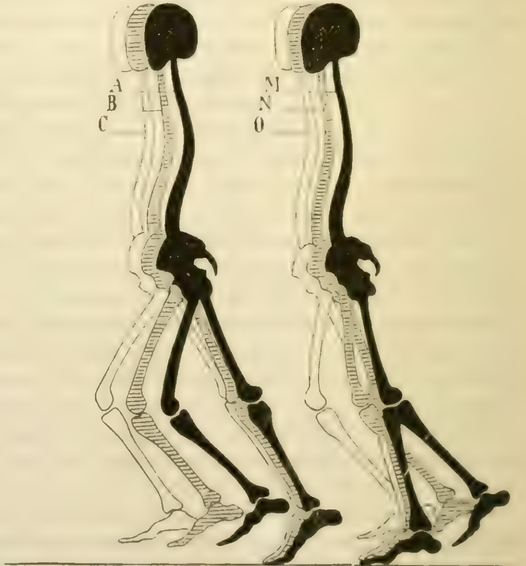


Fig. 163.





Stellt nach Weber die gleichzeitige Lage eines Beines für den Zeitraum eines Schrittes dar. Der Uebersicht wegen sind diese Lagen in 4 Gruppen getrennt worden. Die erste Gruppe: *DEFG* stellt die verschiedenen Lagen dar, welche beide Beine, während sie beide auf dem Boden stehen, gleichzeitig erhalten; die zweite Gruppe *HJKL* die verschiedenen Lagen, welche beide Beine in der Zeit erhalten, wenn das aufgehobene Bein hinter dem stehenden weit zurück ist; die dritte Gruppe: *MNO* die verschiedenen Lagen, welche beide Beine in der Zeit annehmen, wenn das schwingende Bein das stehende überholt; die vierte Gruppe *ABC* die verschiedenen Lagen, welche beide Beine in der Zeit erhalten, wenn das schwingende Bein dem stehenden weit vorausgeeilt ist. An diese Stellung schliesst sich zum zweiten Schritt wieder die erste Gruppe: *DEFG* an.

Bei dem Gehen schwebt stets ein Bein am Rumpfe hängend in der Luft — das passive Bein —, während das andere — das aktive — auf den Boden angestemmt ist.

Es gibt bei jedem Schritt einen Moment, wo das eine Bein senkrecht etwas gebeugt unter dem Schwerpunkt des Rumpfes steht; das andere Bein steht dann ziemlich weit nach hinten und zwar vollkommen in allen seinen Gelenken gestreckt, und berührt nur noch mit den Zehenballen — den Metatarsusköpfchen — den Boden. Es bilden so die beiden Beine mit dem ebenen Boden, auf dem sie stehen, etwa ein rechtwinkeliges Dreieck. Die Hypotenuse stellt das schief nach hinten, die eine Kathete das senkrecht unter dem Schwerpunkt stehende Bein, die andere die Verbindungslinie der beiden Beine am Boden dar.

Das senkrecht stehende Bein *A* hat bei dem nun folgenden Schritt die Projection des Körpers

zu übernehmen. Es nimmt dazu eine etwas nach vorwärts geneigte Stellung ein und verlängert sich durch Streckung in seinen Gelenken. Der Korper würde dadurch nach vorwärts fallen müssen, wenn nicht das andere Bein *B* sich aus seiner Lage gleichfalls entfernt hätte und so weit vorgerückt wäre, dass es nun senkrecht, etwas gebeugt, unter den Schwerpunkt zu stehen käme. Es übernimmt damit die Thätigkeit, welche eben das Bein *A* verrichtete, und ein neuer Schritt beginnt. In dem Augenblicke der höchsten Streckung des Beines *A* loste sich nämlich *B* vom Boden vollkommen los, vermittelst einer leichten Beugung in seinen Gelenken etwas verkürzt, und machte eine Pendelschwingung im Hüftgelenke nach vorwärts bis senkrecht unter den Körperschwerpunkt, dessen Stütze es nun darstellen muss.*) Bei dem Strecken des projicirenden Beines *A* wird, wie angegeben, nicht nur das Knie-, sondern auch das Fussgelenk gestreckt; dadurch wird die Ferse vom Boden abgehoben, die Last ruht dann einen Augenblick nur noch auf den Zehenballen; endlich erheben sich auch diese, so dass vor dem Beginn der Pendelschwingung das Bein nur noch mit dem Ballen der grossen Zehe den Boden berührt. Die Gebrüder Weber vergleichen dieses Abwickeln des Fusses vom Boden mit der Bewegung des Fortrollens eines Rades (Fig. 163).

Das passive Bein macht also, während das aktive die Projection ausführt, eine Pendelschwingung nach vorwärts. Es ist dieses Faktum von besonderer Wichtigkeit, da diese Vorwärtsbewegung des passiven Beines, um als Unterstützung zu dienen, demnach ganz ohne Aufwand von Muskelkräften geschieht. Dadurch werden zwei Vortheile zugleich erreicht, eine bedeutende Kraftersparniss und eine vollkommene Regelmässigkeit der Schritte. Da das Gewicht des Beines durch den Luftdruck im Hüftgelenke fast äquilibrirt ist, so kann es ungestört ziemlich vollkommene Pendelschwingungen ausführen. Wir sehen in Folge davon die Schritte unter dem Einfluss der Pendelgesetze vor sich gehen: die Pendelschwingungen nehmen mit der Kürze des Pendels an Schnelligkeit zu, ebenso die Schwingungen der Beine, so dass sich daraus die gravitätischen Gehbewegungen grosser Personen erklären, wie die rasche Beweglichkeit der kleinen.

Die Schrittlänge ist, wie sich aus directer Anschauung ergibt, um so bedeutender, je stärker das aktive Bein vor Beginn seiner Projectionsthätigkeit gebeugt war, also je tiefer gesenkt der Rumpf beim Gehen getragen wird. Auch die Fusslänge ist von Einfluss, da sich bei dem Vorgang der Abwickelung des Fusses vom Boden vor dem Eintritt der Pendelschwingung der Fuss der Schrittlänge hinzuaddirt. Je länger der sich abwickelnde Fuss ist, eine desto grössere Länge wird dem Schritte dadurch hinzugefügt.

Wir sahen, dass es einen Zeitpunkt gibt, während dessen beide Beine bei dem Gehen den Boden berühren. Dieser Zeitraum kann bei dem geschwindesten Gehen fast vollkommen zu Null werden, so dass der gestreckte Fuss in demselben Augenblick zu pendeln beginnt, in dem der andere nach seiner Schwingung niedergesetzt wurde.

Die Streckung des aktiven Beines ist selbstverständlich nur vermittelst äusserer, auf das Skelet wirkender Kräfte möglich. Sie werden durch den vierköpfigen Streckmuskel des Knies und durch den Wadenmuskel und Musc. soleus, die den Fuss strecken, ausgeführt. Bei der aktiven Beugung des Beines, um die Pendelschwingung möglich zu machen, wirkt wieder der Wadenmuskel, der das Knie etwas beugt.

Der Rumpf, welchen der Luftwiderstand stets in seiner Vorwärtsbewegung verzögert, wird etwas nach vorwärts geneigt, und zwar um so mehr, je rascher die Gangbewegung ist.

Das militärische Gehen ist von dem natürlichen Gehen sehr verschieden; der Stechschritt ist eine Turnübung, bei welcher möglichst alle Beinmuskeln in Uebung und Thätigkeit versetzt werden; bei ihm findet kein Pendeln des »passiven« Beines statt, alle Bewegungen beider Beine werden absichtlich mit Aufwand von Muskelkraft ausgeführt.

---

*) (Nach Marey's graphischen Messungen ist diese Pendelschwingung nur bei sehr rascher Bewegung eine annähernd regelmässige, bei langsamem Gang ist dagegen die Geschwindigkeit des passiven Beines eine gleichförmige, was auf gleichzeitige Muskelthätigkeit schliessen lässt. Ist das vielleicht nur bei den militärischen Schritte der Fall?)

H. Meyer hat die **Mechanik des Sitzens** mit Rücksicht auf die für die Gesundheitspflege so wichtige Schulbankfrage einer genaueren Analyse unterzogen. Meyer nennt die ideale Linie, mit welcher wir die beiden Sitzbeinhöcker verbinden können, Sitzhöckerlinie. Diese Linie ruht zunächst immer bei dem Sitzen auf dem Sitze auf. Um dem Sitze mehr Festigkeit zu verleihen, stützt sich der Körper ausser auf die Sitzhöckerlinie noch auf weitere Punkte, welche entweder vor oder hinter der betreffenden Linie liegen. Je nach der Lage dieser accessorischen Berührungspunkte vor oder hinter der Sitzhöckerlinie wird auch die Schwerlinie des Rumpfes entweder vor oder hinter diese Linie fallen. Meyer unterscheidet darnach zwei Sitzarten, die eine als vordere, die andere als hintere Sitzlage. Die beiden Sitzbeinhöcker, Tubera ischii, sind an ihrer Oberfläche, mit der sie auf dem Sitze aufruhen, convex gekrümmt, so dass der Oberkörper auf ihnen wie ein Schaukelpferd auf seinen Kufen sich vor- und rückwärts rollen kann. Bei der vorderen Sitzlage ruhen ausser der Sitzhöckerlinie auch noch die Schenkel auf dem Sitze auf, es entsteht dadurch eine breite (viereckige) Basis für den Rumpf. Bei dem Sitzen auf niedrigen Schemeln berühren die Schenkelunterflächen den Sitz nicht, hier bilden die Füsse, wo sie den Boden berühren, die accessorischen Stützpunkte; auch auf diese Weise entsteht eine breite (viereckige) Basis. Die Schwerlinie fällt dabei normal stets vor die Sitzhöckerlinie, der Rumpf neigt sich etwas vor, um so mehr, je niedriger der Sitz ist. Seine aufrechte Stellung muss durch Muskelaktion erhalten werden, bei übermüdeten Personen fällt bei dieser Sitzlage der Kopf schliesslich auf die Kniee (Nicken der im Sitzen Schlafenden). Die Muskeln, welche das Vorfallen des Rumpfes, welches schon in etwas die Reibung der Sitzhöcker auf ihrer Unterlage erschwert, verhindern, sind die gespannten Beugemuskeln des Kniegelenkes, welche vom Tuber ischii entspringen. Ihre Betheiligung ist mehr passiv. Die Kürze dieser Muskeln verhindert bei gestreckter Lage des Unterschenkels eine stärkere Vorbeugung im Hüftgelenke; noch stärker wirkt in dieser Richtung ein Uebereinanderschlagen der Beine. Aktiv halten den Rumpf die Streckmuskeln im Hüftgelenke aufrecht, deren Ermüdung wir auch bei längerem Sitzen vor Allem fühlen.

Die durch anhaltendes Sitzen erfolgenden Störungen sind für Kinder vor Allem die daraus entstehende Neigung zu Verkrümmung der Wirbelsäule (Skoliosen). Durch die vordere Sitzlage wird, am stärksten bei muskelschwachen, jugendlichen Individuen, die Wirbelsäule concav nach vorne gebeugt. Diese Beugung kann entweder aktiv durch die Wirkung der Streckmuskeln des Rumpfes vermieden werden, die bei Geradesitzen darum ebenfalls ermüden, oder passiv, indem wir dem Rumpfe eine stützende Unterlage durch Auflegen der Ellbogen auf eine hohe Stuhllehne oder den Tisch ertheilen. Ist der Stuhl sehr niedrig und der Tischrand hoch, so müssen zum Zwecke des Aufstützens die Schultern sehr hoch gehoben werden. Man stützt sich dann wohl nur mit einem (dem rechten) Ellbogen auf, dessen Schulter bedeutend gehoben wird, während der andere Ellbogen herabsinkt und mit ihm die dazu gehörige Schulter. Es leuchtet ein, wie durch eine solche einseitig schiefe Stellung, bei jugendlich bildsamem Knochengerüste, eine seitliche Wirbelsäulenverkrümmung entstehen muss; die Wirbelsäule ist bei der betreffenden Haltung nicht unbedeutend convex nach rechts ausgebogen.

Die (natürliche) hintere Sitzlage benutzt als hinter der Sitzhöckerlinie gelegenen accessorischen Stützpunkt die Spitze des Kreuzbeins. Dabei bekommt der Rumpf eine sehr bedeutende Beugung nach hinten. Wollen wir in dieser Sitzlage an einem Tische arbeiten, so muss sich der Rumpf stark nach vorne concav überbiegen, woraus der oben angedeutete Uebelstand in erhöhtem Maasse eintreten muss. Dadurch, dass man dem Sitze eine kurze Lehne gibt, an welche sich der Rumpf mit dem letzten Lendenwirbel oder mit dem oberen Ende der Hüftbeine schon bei geringerer Beugung lehnen kann, ehe die Spitze des Kreuzbeines den Sitz berührt, kann diese (künstliche) hintere Sitzlage zu einer möglichst angenehmen gemacht werden. Doch müssen auch hier noch die Lendenmuskeln die aufrechte Stellung der Wirbelsäule erhalten. Durch Hintenüberbeugungen, »Strecken« können wir diese Muskeln vollkommen erschlaffen, daher das wohlthätige Gefühl des Streckens

nach langem Sitzen. Die kurze Rucken- Kreuz- Lehne lasst die betreffenden Muskeln moglichst wenig ermuden. Sie gestattet dabei die grosste Beweglichkeit des Rumpfes und ein zeitweiliges Aufstutzen der Ellbogen, um auch die Wirbelsaulenmuskulatur ausruhen zu lassen. Die hohe gerade Lehne ist unzweckmässig, weil sie den am meisten stutzbedurftigen Punkten des Rumpfes keine Unterstutzung gewährt; es tritt bei Ermudeten ein nach vorne concaves Zusammenknicken der zwischen den weit aus einander liegenden Stutzpunkten gelegenen Theile der Wirbelsäule ein, in vielen Fällen mit einer Tendenz zum nach vorne rutschen.

Meyer räth, vor Allem die (künstliche) hintere Sitzlage mit Benutzung der kurzen Rückenlehne zum Sitzen an Arbeitstischen und Schulbänken zu verwenden. Es muss dabei aber der Stuhl dem Tische sehr nahe stehen, und letzterer so niedrig sein, dass er ohne Erhebung der Schulter ein Auflegen der Ellbogen gestattet. Auf diese Weise wurde einer der Hauptgründe fur an der Schulbank erworbene Wirbelsäulenverkrümmungen wegfallen.

Nicht nur die Wirbelsäulenverkrümmung, auch andere Leiden können, namentlich bei jugendlich bildsamen Körpern, durch übermässig langes Sitzen hervorgerufen werden: die Thätigkeit der Brust und des Zwerchfells bei der Athmung wird beim Sitzen eine erschwerte. Congestionen zu den Bauch- und Beckenorganen bilden sich aus, die Muskeln, namentlich die der unteren Extremitäten, werden erschlafft u. v. a. Bewegung in Zwischenviertelstunden, Einschieben von Turnstunden zwischen Lehrstunden, bei welchen Sitzen erforderlich ist, sind für Schulen vom hygieinischen Standpunkt energisch zu empfehlen. Uebermässig lange stehend zu arbeiten, zu schreiben u. a. bringt bei Kindern andere, aber nicht weniger bedenkliche Störungen wie das Sitzen im Körper hervor: Schiefstellung des Beckens und der Schulter, venöse Stauung in den Beinen u. a. (cf. unten Turnen Cap. XIX).

Arbeitsleistung durch Gehen. — Offenbar ist die Ortsbewegung die wichtigste mechanische Thätigkeit des Körpers, ihr ist die Hauptsumme der Organe, die Hauptmasse des gesammten Körpers gewidmet. Staunenswerth ist die Einfachheit des Bewegungsprincipes, sowie der Hülfsmittel, durch welche so kraftvolle und rasche Bewegungen ausgeführt werden können mit so geringem Aufwande äusserer Bewegungskräfte. Die Glieder des Menschen sind für die Ortsbewegung so vollkommen eingerichtet, dass der Mensch nach Versuchen durch keine andere Art der Krafterzeugung mehr zu leisten vermag, als durch ihre Benutzung zu diesem Zwecke. So wird uns das überraschende Resultat der Tabelle klar, mit der wir unsere Besprechungen dieses Capitels begannen, dass der Mensch am Tretrade so weit mehr Arbeit zu leisten vermag, als an der Kurbel. Im ersteren Falle ist die Arbeit vorzüglich den unteren Extremitäten übertragen, und zwar leisten sie diese in der für sie am vortheilhaftesten erkannten Weise der Lokomotion des Körpers.

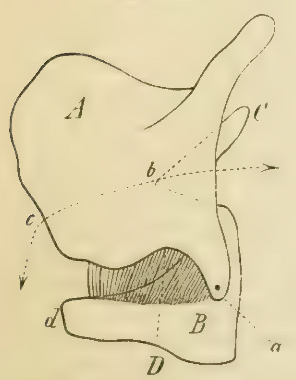
Es ist nicht schwer, sich einen Begriff davon zu machen, in welcher Weise durch Ortsbewegung des Körpers Arbeit geleistet wird. Nehmen wir z. B. an, ein Mann von 70 Kilogramm Körpergewicht habe einen Berg von 2000 m erstiegen, so heisst das offenbar Nichts weiter, als dass er sein Gewicht von 70 Kilogramm auf die angegebene Höhe gehoben habe, d. h. er hat 140 000 Kilogrammmeter Arbeit geleistet. Diese Arbeitsgrösse würde auf das Doppelte steigen, wenn er eine Last, die seinem Körpergewicht gleich wäre, mit sich auf dem Rücken emporgetragen hätte; sie würde seine Arbeitsleistung an der Kurbel weitaus übertreffen: 184 320 : 280 000. Bei der Leistung im Tretrade kommt noch eine Arbeit der oberen Extremitäten hinzu, wodurch dieselbe so hoch gesteigert wird: 345 600. Die Gebrüder Weber geben eine Formel an, nach der die bei dem Gehen auf horizontalem Wege geleistete Arbeit für einen erwachsenen Körper berechnet werden kann. Darnach berechnete ich für einen Mann die Arbeitsleistung für eine Stunde Weges auf horizontalem Boden auf 25 000 Kilogrammmeter. In 8 Gehstunden würden somit etwa 200 000 Kilogrammmeter Arbeit durch die Ortsbewegung des Körpers geleistet, etwa die gleiche Grösse, wie sie in der citirten Tabelle für den Göpel verzeichnet ist.

Die Wirkung der Stimmbänder.

Das Vermögen, artikulirte Laute und musikalische Töne hervorzubringen, beruht wie die im Vorigen besprochenen Leistungen wesentlich auf Stellungsveränderungen von (knorpeligen) Skelettheilen.

Das Stimmorgan, das musikalische Instrument des Menschen, ist der Kehlkopf. Sowohl Beobachtungen an lebenden Menschen als an ausgeschnittenen Kehlköpfen zeigen, dass die Stimme in der Stimmritze gebildet wird. Befindet sich eine Oeffnung in der Luftröhre eines Menschen oder macht man eine solche bei einem Säugethier zum Behuf des Versuches, so kann keine Stimme mehr gebildet werden; diese Fähigheit kommt zurück, sowie man die Oeffnung verschliesst. Eine Oeffnung über der Stimmritze hebt dagegen die Stimme nicht vollkommen auf; der Kehldeckel, die oberen Stimmbänder können fehlen, und doch ist noch Stimme vorhanden. Legt man die Stimmritze an lebenden Thieren bloss, so kann man sich leicht davon überzeugen, dass die unteren Stimmbänder, welche die Stimmritze einschliessen, bei dem Tonangeben in Schwingungen gerathen. Die Entdeckung des Kehlkopfspiegels erlaubt es, die Stimmbänder im Innern des normalen Organismus während ihrer Functionen zu beobachten; man erkennt, dass sie bei dem Stimmgeben Schwingungen machen, die je nach der Stärke und Höhe des Tones an Intensität und Geschwindigkeit verschieden sind. Namentlich bei tieferen Brusttönen sind ihre Schwingungen sehr ausgiebig; so oft ihre Bänder nach innen schlagen, wird die Stimmritze ganz eng geschlossen.

Fig. 164.



Seitenansicht des Kehlkopfs. *A* Schildknorpel. *B* Ringknorpel, *C* rechter Giessbeckenknorpel; *b* sein Stimmfortsatz, *b c* Stimmband. Der Zug auf den Schildknorpel in der Richtung des Pfeiles *c* spannt das Stimmband an, wenn die Giessknorpel fixirt sind. Ist ersteres fixirt, so kann auch der Zug in der Pfeilrichtung *b* das Stimmband spannen. *a* Drehungsaxe des Ringknorpels. *D* Musc. cricothyreoideus.

Nach Johannes Müller's bei den deutschen Gelehrten allgemein angenommener Lehre sind die unteren Stimmbänder (Lig. thyreoarytaenoidea inferiora) vermittelst ihrer Schwingungen, die sie unter der Wirkung des Ex-, unter Umständen auch des Inspirationsluftstromes von ihren eigenen elastischen Kräften getrieben ausführen, das eigentlich Wesentliche bei der Tonerzeugung. Es ist der Kehlkopf ein membranöses Zungenwerk, die Stimmbänder sind die elastischen Zungen. Wird ein genügend starker Luftstrom gegen diese Zungen geblasen, so versetzt er diese in Schwingungen, welche zur Tongebung Veranlassung werden können

Diese Stimmbänder sind, mit der hier Pflasterepithel tragenden Schleimhaut des Kehlkopfes überzogen, zwischen dem Schildknorpel und den Giessbeckenknorpeln ausgespannt. Die Spalte, welche sie von einander trennt, wird nur in ihrem vorderen Theil als eigentliche Stimmritze (Glottis vocalis) bezeichnet; der Theil der Spalte, welcher sich zwischen die beiden Giessbeckenknorpel

fortsetzt, trägt den Namen Athemritze (Glottis respiratoria), Bezeichnungen nach der Function der einzelnen Abschnitte gewählt.

Die Länge und Spannung der Stimmbänder hängt von der Entfernung ihrer beiden Ansatzpunkte ab, welche durch Stellungsverschiedenheiten des Schildknorpels gegen den Ringknorpel verändert werden kann. Durch Drehung um eine Queraxe bei fixirten Giessbeckenknorpeln kann der vordere Theil des Schildknorpels dem vorderen Theile des Ringknorpels mehr oder weniger genähert werden, wodurch sich der obere Theil, an welchen die Stimmbänder sich ansetzen, nach vorn oder hinten bewegt und die Bänder so mehr an- oder mehr abgespannt werden können. Die Giessbeckenknorpel drehen sich um eine auf die Drehungsaxe des Schildknorpels senkrechte Linie, sie entfernen dadurch die hinteren Ansätze der Stimmbänder mehr oder weniger von einander und bestimmen hauptsächlich die Form der Stimmritze.

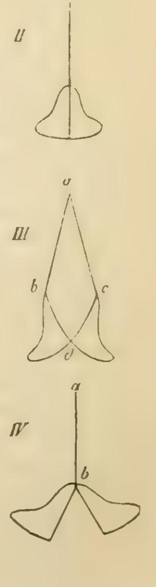


Fig. 165.

Die Stellungsveränderungen des Schildknorpels (Fig. 165) besorgen die Musc. cricothyreoidei; sie spannen, wenn die Giessbeckenknorpel festgestellt sind, die Stimmbänder durch das Herabziehen des oberen Randes des Schildknorpels in der Richtung gegen den Ringknorpel. In den Stimmbändern selbst verlaufen die Musc. thyreoarytaenoidei, sie setzen sich an die Giessbeckenknorpel an und wirken somit, indem sie die obere Kante des Schildknorpels nach hinten ziehen, in entgegengesetzter Richtung, sie spannen die Stimmbänder ab und verkürzen sie durch ihre eigene Contraction. Dabei scheint auch eine ungleiche Spannung der Stimmbänder eintreten zu können, da ein Theil der Fasern am Stimmbande selbst entspringt. Bei der Contraction werden die Theile des Stimmbandes abgespannt werden, in denen solche Fasern verlaufen, die anderen dagegen angespannt. Ihr Ansatz an die Giessbeckenknorpel ist so, dass ein Theil ihrer Fasern den äusseren Rand derselben umgreift; bei der Contraction werden demnach die äusseren Kanten nach innen gezogen; die inneren Ränder (Proc. vocales) stossen endlich zusammen, so dass die eigentliche Stimmritze nun vollkommen verschlossen ist, während die Athemritze eine dreieckige Oeffnung bildet, mit der Spitze gegen die Stimmritze zugewendet (No. IV). Analog wirken die Musc. cricoarytaenoidei laterales, welche die Proc. musculares der Giessbeckenknorpel nach abwärts, vorn und aussen ziehen, so dass die Proc. vocales gegen einander gerückt werden. Im entgegengesetzten Sinne wirken die an dem unteren, hinteren Ende (dem Proc. muscularis) der Giessbeckenknorpel angreifenden Musc. cricoarytaenoidei postici; sie ziehen die äusseren Ränder nach hinten und abwärts, nähern die beiden Proc. musculares einander, bis sie zusammenstossen, ziehen damit die beiden Proc. vocales von einander ab, so dass dadurch die Stimm- und Athemritze eine gemeinsame weite, rautenförmige Oeffnung darstellt (No. III). Ein vollkommener Verschluss der Athem- und Stimmritze,

z. B. vor dem Husten, wird durch die gleichzeitige Wirkung der Thyreoarytaenoidei und der Interarytaenoidei, des Transversus und des Obliquus hervorgebracht, indem sie die ganze Pyramide der Giessknorpel zusammenziehen, so dass gleichzeitig Muskel- und Stimmfortsätze einander genähert werden (No. II).

Nach Jelenffy zerfällt der Musc. cricothyreoideus in drei Componenten, welche alle die Stimmbänder spannen. Die erste durch Hebung des Ringknorpels nach oben und etwas nach hinten; die zweite zieht dabei den Ringknorpel zurück, dagegen den Schildknorpel vorwärts, die dritte fixirt bei gleichzeitiger Wirkung beider Hälften den Ringknorpel und nähert die Platten der Cart. thyreoidea, wenn letztere durch den M. thyreo-hyoideus festgestellt wird.

Im falschen Stimmband findet Rüdinger einen eigenen Muskel: Taschenband- oder falsche Stimmband-Muskel: M. ary-epiglotticus oder unterer Giessbecken-Kehldeckelmuskel. Rüdinger schreibt ihm Stellungsveränderungen der Morgagni'schen Tasche, und damit Einfluss auf die Wirkung des Resonanzraums des Kehlkopfes zu. An einem Hingerichteten reizte er den Taschenbandmuskel und fand, dass durch ihn die Taschenbänder selbständige Bewegungen ausführen können nach ein- und abwärts, wodurch der Eingang in den Morgagni'schen Ventrikel verengert, die Tasche selbst durch Entfernung der medialen von der lateralen Wand erweitert wird.

Das menschliche Stimmorgan gehört seiner akustischen Einrichtung nach zu den Zungenwerken. Im Kehlkopf sind die unteren Stimmbänder als membranöse Zungen durch das Trachealrohr gespannt. Bronchien, Luftröhre und der untere Theil des Kehlkopfes fungiren als »Windrohr« des Instrumentes, durch sie wird den membranösen Zungen der Luftstrom zugeleitet, der sie in Schwingungen versetzt. Der obere Theil des Kehlkopfs, dann die Rachen-, Mund- und Nasenhöhle dienen als »Ansatzrohr«.

Die Tonerzeugung in den Zungenwerken (Helmholtz) geschieht dadurch, dass durch einen Luftstrom elastische Platten oder Bänder in schwingende Bewegungen versetzt werden, wobei sie die Oeffnung, in der sie befestigt sind, bald schliessen, bald frei lassen. Die Zunge ist dabei nur die Veranlassung, nicht die Ursache des entstehenden Tones. Sie zerfällt den Luftstrom, der ohne sie ununterbrochen gegangen wäre, in eine Reihe periodisch wiederkehrender Bewegungen, durch die unser Ohr den Eindruck des Tones erhält. Man studirt die Einrichtung der membranösen Zungen am einfachsten an hölzernen Röhren, deren oberes Ende man von zwei Seiten her in der Weise schräg abgeschnitten hat, dass zwei etwa rechtwinkelige Spitzen zwischen den beiden Schnittflächen stehen bleiben. Ueber die beiden Abdachungsflächen spannt man je ein Streifchen vulkanisirten Kautschuks und befestigt sie mit Fäden, zwischen beiden elastischen Streifen bleibt ein feiner Spalt. Biegen sich die Membranen nach innen, so verschliessen sie, biegen sie sich nach aussen, so öffnen sie den Spalt. Zwei musikalische Instrumente der Art sind die menschlichen Lippen beim Anblasen der Blechinstrumente und der menschliche Kehlkopf im Gesang und bei der Vokalbildung. Die Lippen sind beim Anblasen der Blechinstrumente als schwach elastische, mit viel unelastischem Gewebe belastete membranöse Zungen zu betrachten, die isolirt verhältnissmässig sehr langsam schwingen würden. Der Kehlkopf entspricht im Allgemeinen dem oben erwähnten Modell, doch haben seine beiden Zungen, die Stimmbänder, vor allen künstlichen den Vorzug voraus, dass die Weite ihres Spaltes (Stimmritze), sowie ihre Spannung und selbst ihre Form willkürlich ausserordentlich sicher und schnell geändert werden kann. Dazu kommt noch die grosse Veränderlichkeit des durch die Mundhöhle etc. gebildeten Ansatzrohres, so dass eine viel grössere Mannigfaltigkeit von Klängen durch sie hervorgebracht werden kann, als durch irgend ein einfaches künstliches Instrument. Die willkürlich veränderliche Spannung der Stimmbänder verändert und bestimmt die Höhe des Tones. Die mit dem Kehlkopf verbundenen Lufthöhlen können den Ton der Stimmbänder nicht beträchtlich verändern, auch das Ansatzrohr der Mundhöhle ist dazu zu kurz und meist zu weit geöffnet. Durch willkürliche Spannung der in den Stimmbändern gelegenen Muskelfasern scheint auch die Dicke der Stimmbänder sich verändern zu können. Nach unten von dem

eigentlich elastischen Theil der Stimmbänder liegt noch viel weiches, unelastisches Gewebe, welches wohl bei der Bruststimme als Belastung der elastischen Bänder eine Rolle spielt und ihre Schwingungen verlangsamt. Die Fistelstimme entsteht wahrscheinlich umgekehrt dadurch, dass die Ränder der Stimmbänder freier und schärfer werden, indem die unter ihnen gelegene Schleimhautmasse zur Seite gezogen wird. Dadurch wird das Gewicht der schwingenden Theile vermindert, die Elasticität bleibt dieselbe. Die Rauhheit der Stimme bei Erkältung rührt von Schleimflöckchen her, welche in den Spalt der Stimmritze gerathen und den Verschluss und die Schwingungen der Stimmbänder unregelmässig machen. An dem Modell ist leicht zu demonstriren, dass die Entfernung der membranösen Zungen, entsprechend der Weite der Stimmritze, von Einfluss ist auf die Möglichkeit, Töne hervorzurufen. Nur wenn die Spalte eng ist, gelingt die Tonerzeugung leicht, bei weiterem Spalte muss das »Anblasen« verstärkt werden. — Die Helmholtz'sche Lehre von den Tönen und Klängen cf. bei Gehörsinn.

In Beziehung auf die Schwingungen der gespannten Stimmbänder walten, wie aus dem Gesagten sich ergibt, im Allgemeinen dieselben Gesetze, die sich bei gespannten Saiten geltend machen. Wie bei letzteren ist die Schwingungszahl der Länge und dem Durchmesser umgekehrt proportional, sie ist direct proportional der Quadratwurzel des spannenden Gewichts oder der Spannung, und umgekehrt proportional der Quadratwurzel der Dichtigkeit. Bei Saiten von verschiedenen Durchmessern und Dichtigkeiten gilt das Gesetz, dass die Schwingungszahl der Quadratwurzel des Gewichtes der Saite umgekehrt proportional ist. Stärkeres Anblasen steigert bei den membranösen Zungen die Tonhöhe (J. Müller), da durch die grösseren Exkursionen, welche die schwingenden Platten ausführen, ihre Spannung erhöht wird.

Die Quantität der Bewegung, welche die schwingenden Stimmbänder selbst der Luft mittheilen, ist zu gering, als dass sie als Schall beobachtet werden könnte. Es sind, wie oben gesagt, die rasch sich folgenden periodischen Luftbewegungen, die wir vernehmen. Die schwingenden Saiten müssen, wenn sie als Tonquelle benutzt werden sollen, mit Körpern von grösserer Oberfläche, Resonanzboden, verbunden werden, die ihre an sich zu schwachen Schwingungen aufnehmen und der umgebenden Luft mittheilen. Daher wird das Tönen der Harfe, des Klaviers, der Guitarre oder Violine hauptsächlich von dem Resonanzboden des Instrumentes bestimmt.

Das Material der Zungen beeinflusst die Klangfarbe der durch sie erzeugten Klänge wesentlich. Hartes, unnachgiebiges Material, wie das der Messingzungen, lässt die Luftstösse viel mehr abgerissen hervortreten, als weiches, nachgiebiges. Je kürzer die Luftstösse, je plötzlicher sie eintreten, desto mehr hohe, dissonirende Obertöne treten hervor. Hierin liegt wahrscheinlioh hauptsächlich der Grund, warum vor allen Klängen von Zungenpfeifen die menschlichen Gesangstöne gut gebildeter Kehlen sich durch Weichheit auszeichnen. Doch treten besonders bei angestrengtem Forte auch bei der menschlichen Stimme eine sehr grosse Zahl hoher Obertöne auf (cf. Vokale). Wesentlich verändert wird der Klang der Zungen durch die Ansatzröhren. Freie Zungen haben einen scharfen, schneidenden Klang, man hat ein Gewirr dissonirender Obertöne bis zum sechzehnten, zwanzigsten und höher hinauf. Durch das Anbringen eines Ansatzrohres treten diejenigen Obertöne, welche eigenen Tönen des Ansatzrohres entsprechen, beträchtlich verstärkt hervor, die übrigen werden weniger hörbar, ihre Wirkung tritt zurück oder verschwindet.

Die Klangbildung im Stimmorgane.

Zur Hervorrufung musikalischer Schwingungen der Luft bedürfen die Stimmbänder vor Allem eine gewisse Spannung; wie ungespannte musikalische Saiten geben sie ausserdem keine Töne, sondern nur Geräusche von sich. Der Grad der Spannung, sowie die Länge der schwingenden Membran bedingen die Höhe des erzeugten Tones, wobei auch die Stärke des Anblasens mitwirkt. Bei

übermässig hohen, von dem Kehlkopf erzwungenen Tönen bedarf es zur Hervorrufung dieses letzten Mittels, so dass diese nur forte angegeben werden können. Da das Anblasen um so stärker werden kann, je enger die Stimmritze ist, so zeigt sich diese bei den hohen und höchsten Tönen verengt, die Athemritze geschlossen. Der Luftdruck in der Luftröhre nimmt mit der Tonhöhe zu (Cagniard-Latour). Die Stimmbänder können zur Erzeugung höherer Töne auch verkürzt werden, wie sich aus den Besprechungen der Muskelwirkung ergibt. Je kürzer die Stimmbänder an sich sind, desto höher ist die natürliche Tonlage des Kehlkopfes, so haben Kinder und Frauen, da sie einen kleineren Kehlkopf und damit auch kürzere Stimmbänder besitzen, höhere Stimmen als Männer.

Von der Gestalt und Länge der die Stimmbänder umgebenden Gebilde, des Wind- und Ansatzrohres ist die Tonhöhe des Kehlkopfes unabhänig. Man kann Alles über den Stimmbändern Gelegene am Kehlkopf entfernen, ohne die Tonhöhe zu verändern. Garcia hat aber gezeigt, dass mit zunehmender Tonhöhe die oberen Stimmbänder sich etwas einander nähern, der Kehldeckel legt sich dabei etwas mehr über den Kehlkopfeingang hinweg. Es scheint sonach, dass sich diese Gebilde an der stärkeren Stauung der Luft in den Luftwegen, die zur Hervorbringung hoher Töne erforderlich ist, betheiligen. Dabei steigt der Kehlkopf im Ganzen etwas in die Höhe.

Die Wirkungsweise der einzelnen Muskeln ist bei dem Hervorrufen musikalischer Töne im Kehlkopfe eine sehr mannigfaltige. Wir sehen fort und fort die Spannung der Bänder, ihre Länge, ihre Stärke des Anblasens in ihren Wirkungen einander compensiren, so dass derselbe Ton forte und piano wechselweise, oder in Stärke an- und abschwellend gesungen werden kann. Es ist dabei je nach der Stärke des Anblasens die Bänderspannung eine verschiedene. Zur Erzeugung der höchsten Töne steht dem Kehlkopf noch ein weiteres Register zu Gebote, welches Töne von wesentlich anderer Klangfarbe liefert, als die gewöhnlichen: die oben erwähnte Fistelstimme (S. 685). Die Stimmritze ist bei dieser Art der Tonerzeugung weiter geöffnet, die Stimmbänder sind sehr stark gespannt.

Die Genauigkeit ist bewundernswürdig, mit welcher von einer geübten Menschenstimme musikalische Töne angegeben werden, wenn wir bedenken, welche Feinheit der Abstufung der Muskelspannungen lediglich auf dem Gefühl der Richtigkeit des Tones, d. h. auf dem Gedächtniss für die für den betreffenden Ton nothwendige Muskelspannung beruhend, dafür erforderlich ist. A. Klüder zeichnete die Schwingungen zweier Membranen gleichzeitig graphisch auf, von denen die eine durch einen Ton der Menschenstimme, die andere durch denselben konstanten Ton einer Orgelpfeife in Bewegung gesetzt wurde. Er fand aus diesen vergleichenden Versuchen, dass der durchschnittliche Fehler einer wohlgeübten Menschenstimme bei Einsatz des Tons nur 0,357% beträgt. Ein geübter Kehlkopfmuskel des Menschen kann, je nach der Vollendung seiner musikalischen Ausbildung, zwischen 40—170 verschiedene Spannungsgrade bei der Tonbildung innehalten.

Die die Stimmritze umgebenden Organe üben durch ihre Resonanz einen Einfluss auf Klang und Stärke des Tones aus, der sich je nach der Stellung dieser Theile ändern kann (bei der Vokalerzeugung). Auch die Brustwandungen, die in den Lungen und der Luftröhre eingeschlossene Luft betheiligen sich

durch Resonanz an der Tonerzeugung. Bei der sogenannten **Bruststimme**, dem gewöhnlichen Stimmregister ist die Resonanz der Brust als Fremitus pectoralis zu fühlen; bei der **Fistelstimme** schwingen vor Allem die Organe der Mund- und Nasenhöhle, die in ihnen enthaltene Luft, mit, wodurch die Bezeichnung **Kopfstimme** gerechtfertigt wird.

Je nach der Grösse des Kehlkopfes ist der **musikalische Stimmumfang** verschieden. Gewöhnlich beträgt er zwei bis zwei ein halb Octaven. Die Frauenstimme liegt höher als die Männerstimme. Der Bass geht, nach der HELMHOLTZ'schen Bezeichnung, gewöhnlich von E (80 Schwingungen in der Secunde) bis f^I (342); der Tenor von c (128) bis c^{II} (512); der Alt von f (171) bis f^{II} (684); der Sopran von c^I (256) bis c^{III} (1024). Der Gesammtumfang der menschlichen Stimme umfasst darnach beinahe 4 Octaven. Diese Grenzen werden aber nicht nur durch die Fistelstimme, sondern auch noch in vielen Fällen durch die Bruststimme überschritten. Die Töne zwischen c^I bis f^I haben alle Stimmen gemeinschaftlich, aber mit sehr verschiedener Klangfarbe.

Die Bezeichnung ist hierbei folgende: *c d e f g a h* ungestrichene oder kleine Octave (4füssige Octave der Orgel); c^I d^I etc. eingestrichene (2füssige); c^{II} d^{II} etc. zweigestrichene (1füssige) Octave; C D etc. grosse (8füssige) Octave; C_I D_I etc. Contraoctave (16füssig).

Die Sprechstimme.

Während die Töne allein mit Hülfe der Stimmbänder erzeugt werden, wirken bei der Erzeugung der Geräusche und Töne, aus denen die Sprache besteht, auch die Mundtheile mit, in manchen Fällen bei der flüsternden Sprache sie allein. Die einzelnen Sprachgeräusche, **Laute** (Buchstaben), werden sowohl durch die ein- als ausströmende Athemluft erzeugt, während die beweglichen Theile der Mundhöhle — in manchen Fällen auch der Nase, die Lippen, die Zahnreihen auf den Kiefern, die Zunge, der Gaumen bestimmte Stellungen eingenommen haben. In der Mehrzahl der Fälle hat die Sprache einen Klang, sie ist laut, weil ausser den Mundorganen auch die Kehlkopforgane, besonders die Stimmbänder mit zur Lauterzeugung benutzt werden. Doch kann unter Umständen der Stimmapparat ganz unthätig bleiben: die Flüstersprache ist bei weit geöffneter Stimmritze, beim Einziehen der Luft möglich, wobei die Stimmbänder nicht in Schwingungen gerathen.

Die einzelnen Komponenten der Sprache: die **Laute**, unterscheiden sich dadurch, dass die einen, die **Konsonanten**, reine, undefinirbare **Geräusche** sind, während die anderen, die **Vokale**, den Charakter von **Klängen** haben. Letztere werden bei der Flüstersprache in der Mundhöhle selbst producirt, bei der lauten Sprache mischen sich ihnen noch in den Stimmwerkzeugen hervorgebrachte bei. Doch üben auch hierbei die eigentlichen Sprachwerkzeuge den bestimmenden Einfluss aus, sie charakterisiren den Laut; es können alle Vokale in demselben Ton, jeder in den verschiedensten Tönen, gesprochen und gesungen werden, ohne dass sie ihre Erkenntlichkeit einbüssen.

Das menschliche Stimmorgan unterscheidet sich von den gewöhnlichen Zungenpfeifen vor Allem darin, dass ihm ein in seiner Gestalt veränderliches Ansatzrohr, Resonanzrohr angefügt ist, die Mundhöhle, welche je nach der

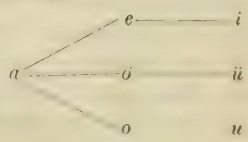
Form, die sie annimmt, einzelne Töne des Instrumentes verstärkt oder schwächt. Donders fand, dass der Mund durch Veränderung in der Stellung der Mundtheile für die verschiedenen Vokale verschieden abgestimmt sei (cf. unten).

In der Flüstersprache werden die Vokale dadurch erzeugt, dass die in verschiedene Gestalt gebrachte Mundhöhle durch den In- oder Exspirationsluftstrom angeblasen wird. Die dadurch erzeugten Geräusche lassen eine bestimmte Tonhöhe erkennen (Donders, Willis), die bei verschiedenen Personen auffallend gleich bleibt. Nach der Methode von Helmholtz können diese Töne, die Eigentöne der Mundhöhle je nach der verschiedenen Stellung der Mundtheile durch Mittönen gefunden werden, indem man angeschlagene Stimmgabeln vor den Mund hält, der zur Aussprache eines Vokales gestellt ist. Trifft man die Stimmgabel, deren Grundton mit dem Tone der Mundhöhle in ihrer bestimmten Stellung identisch ist, so wird ihr Ton, verstärkt durch die Resonanz des Mundes, hörbar.

Die Vokale. Nach Helmholtz' Definition sind die Vokale der menschlichen Stimme Töne membranöser Zungen, der Stimmbänder, deren Ansatzrohr, die Mundhöhle, verschiedene Weite, Länge und Stimmung erhalten kann, so dass dadurch bald dieser, bald jener Theilton des Klanges verstärkt wird. Mit Hülfe der Resonanzröhren kann man in tiefen, kräftig gesungenen Bassnoten bei den helleren Vokalen sehr hohe Obertöne (bis zum 6.) erkennen, ziemlich regelmässig findet man die ersten 6—8 Obertöne, aber von wechselnder Stärke. Bei scharfen und hellen Stimmen ist die Stärke der Obertöne, namentlich der hohen, grösser, als bei weichen und dumpfen. Scharfe Töne scheinen dadurch zu entstehen, dass die Stimmbänder nicht glatt und gerade genug sind, um sich, ohne an einander zu stossen, zu einer geradlinigen Spalte zusammenlegen zu können. Mit dem Kehlkopfspiegel sieht man dagegen normal-schwingende Stimmbänder mit einer auffallenden Genauigkeit schliessen. Bei den Klängen anderer Zungenwerke, also wohl auch bei denen des Kehlkopfes, nehmen ohne Resonanz die Obertöne ihrer Stärke nach continuirlich ab. Bei den Vokalen, welche mit trichterförmig weit geöffneter Mundhöhle gesprochen werden, bei dem scharfen *A* oder *Ä*, verhalten sich die Obertöne dieser Annahme ziemlich entsprechend. Je mehr aber die Mundhöhle verengt wird, entweder durch die Lippen oder die Zunge, desto entschiedener kommt ihre Resonanz für Töne von ganz bestimmter Höhe zum Vorschein, und desto mehr verstärkt sie in dem Klang der Stimmbänder gewisse Obertöne.

Festgehalten muss werden, dass bei jedem beliebigen, zur Klangerzeugung verwendbaren Spannungsgrad der Stimmbänder an dem sich gleichbleibenden Klange derselben der Charakter der verschiedenen Vokale durch Veränderung in der Resonanz des Ansatzrohres ertheilt werden kann. Derselbe Grundton, dieselben Obertöne werden dabei von dem menschlichen Zungenwerke selbst hervorgebracht, die Verschiedenheit des Klanges der auf dieselbe Note gesungenen oder gesprochenen Vokale rührt nur daher, dass in den verschiedenen Fällen verschiedene Partialtöne des Klanges von der Resonanz des Mundes verstärkt worden sind. Die Tonhöhen stärkster Resonanz der Mundhöhle hängen nur von dem Vokale ab, für dessen Bildung man die Mundtheile eingestellt hat. Sie wechseln bei kleinen, den Dialekten entsprechenden Abänderungen in der Klangfarbe des Vokales sehr bedeutend. Dagegen findet man im Allgemeinen dieselbe Resonanz bei Männern, Frauen und Kindern. Was der weiblichen und kindlichen Mundhöhle an Geräumigkeit abgeht, wird durch engeren Verschluss der Oeffnungen ersetzt.

Die Vokale zerfallen in drei Reihen nach der Stellung der Mundtheile, welche du Bois-Reymond, der Aeltere, folgendermassen zusammenstellt, indem der Vokal *a* den gemeinsamen Ausgangspunkt für alle drei Reihen bildet:



Dem Vokale *A* entspricht eine sich vom Kehlkopf ab ziemlich gleichmässig trichterförmig erweiternde Gestalt der Mundhöhle. Bei *O* und *U* wird die Mundhöhle mittelst der Lippen verengt, so dass die Mundhöhle bei *U* vorne am engsten ist, während sie durch Herabziehen der Zunge in ihrer Mitte möglichst erweitert wird, im Ganzen also die Gestalt einer Flasche ohne Hals erhält, deren Oeffnung, der Mund, ziemlich eng ist. Die Tonhöhe solcher Flaschenräume, die meist nur einen Eigenton mit starker Resonanz erkennen lassen, wird um so tiefer, je weiter die Hohlräume und je enger ihre Mündung ist. Bei *U* entspricht der Mund-Eigenton dem ungestrichenen *f*. Führt man das *U* in *O* über, so steigt die Resonanz allmälig bis auf b^{I}. Führt man die Mundhöhle aus der *O*-Stellung allmälig durch die zwischen *A* und *O* liegenden Mittellaute in das reine norddeutsche *A* über, so steigt allmählich die Resonanz um eine Octave bis auf b^{II}. Die zweite von *A* ausgehende Reihe von Vokalen *A*, *E*, *I* zeigen noch einen zweiten Eigenton. Die Lippen werden so weit zurückgezogen, dass sie den Luftstrom nicht mehr beengen, dagegen tritt eine neue Verengerung auf zwischen dem vorderen Theil der Zunge und dem harten Gaumen, während der Raum unmittelbar über dem Kehlkopf sich durch Einziehen der Zungenwurzel erweitert, wobei gleichzeitig der Kehlkopf emporsteigt. Die Form der Mundhöhle nähert sich dadurch der Form einer Flasche mit engem Halse. Derartige Flaschen haben zwei deutliche Eigentöne, der eine ist der des Halses, der andere der des Flaschenraumes. Bei den letztgenannten Vokalen finden wir dem entsprechend einen höheren und einen tieferen Resonanzton. Die höheren Töne setzen die aufsteigende Reihe von Eigentönen der Vokale *U*, *O*, *A* fort, dem Ton *A* entspricht g^{III} bis as^{III}, *E* b^{III} und *I* (mittelst des Luftgeräusches bestimmt) d^{IV}. Schwerer sind die tieferen, den hinteren Abtheilungen der Mundhöhle angehörenden Eigentöne zu bestimmen. *A* entspricht d^{II}, *E* f^{I}, *I* (wie *U*) bei *f*. Bei der dritten Vokalreihe, welche durch *Ö* nach *Ü* übergeht, bleibt die Zungenstellung die gleiche, wie für die vorstehende Reihe. Für *Ü* ist die Stellung wie für einen zwischen *E* und *I* gelegenen Vokal, bei *Ö* die Stellung für *E*, aber ein wenig nach *Ä* gezogen. Ausser der Verengerung zwischen Zunge und Gaumen verengern sich aber auch die Lippen wieder, so dass sie sich zu einer Art Röhre formiren, die eine vordere Verlängerung der zwischen Zunge und Gaumen liegenden Röhre bildet. Die Mundhöhle stellt also Flaschen mit noch längerem Halse dar, als bei der zweiten Vokalreihe. Die Tonhöhe des höheren, dem Flaschenhals angehörenden Eigentons wird dadurch etwa um eine Quart vertieft, für *Ö* cis^{III}, für *Ü* g^{III}—as^{III}. Die schwerer zu bestimmenden tieferen Eigentöne sind für *Ö* wie für *E* f^{I}, für *Ü* wie für *I* *f*.

Der Zugang zu den Choanen muss dem Luftstrome bei der Bildung der Vokale versperrt sein, sie nehmen sonst einen näselnden Charakter an. Der Verschluss geschieht durch Hebung des Gaumensegels, welche die Choanen verschliesst. Am wenigsten vollständig geschieht dies bei *A*, dann folgt *E*, *O*, *U*, *I*.

Aus dem Gesagten ergibt sich, warum die Vokale am charakteristischsten auf die Noten gesungen werden können, die einen Oberton haben, welcher mit dem specifischen Eigenton des Vokales harmonisch ist. Die Diphthongen sind Mischlaute, rasch hinter einander gesprochene Vokale, also aus zwei Klängen zusammengesetzt. Die Mundstellung geht dabei rasch aus der für den ersten in die für den zweiten Vokal über.

Die Konsonanten sind, wie schon angegeben, mehr oder weniger reine Geräusche. Ihre Erzeugung ist analog der der flüsternd gesprochenen Vokale unabhängig von dem Kehlkopfe und erfolgt dadurch, dass der zum Sprechen verwendete Luftstrom die verschiedenen Rachen- und Mundtheile, bei verschiedenen Mundstellungen in nicht tönende Schwingungen versetzt. Einige Konsonanten, *M* und *N* durch die Nase gesprochen, sind keine einfachen Geräusche, sondern nur Modificationen des Stimmklanges durch die Eigentöne der mitschwingenden, verschieden gestellten Mund- und Nasenhöhle. Man unterscheidet Lippen-, Zungen- und Gaumenbuchstaben, je nach dem Ort, an welchem die Geräusche gebildet werden. Stets sind die Stellen, an denen die Buchstaben in der Mundhöhle entstehen, verengert zu sogenannten »Thoren«. Das Lippenthor für Bildung der Lippenbuchstaben: *p*, *b*, *f*, *v*, *w*, *m* wird entweder durch beide Lippen gebildet oder durch die Unterlippe und

obere Reihe der Schneidezähne. Das Zungenthor für Bildung der Zungenbuchstaben (*t*, *d*, *s* (scharf), *s* (weich), *l*, *n*, *r* wird durch die Zungenspitze und den vorderen Theil des harten Gaumens oder die Rückseite der oberen Schneidezähne gebildet. Zungenwurzel und weicher Gaumen bilden das Gaumenthor für die Gaumenbuchstaben: *k*, *g*, *ch*, *j*, *r* (im Rachen ausgesprochen). Dadurch, dass die vorher geschlossenen Thore plötzlich gesprengt oder die vorher offenen plötzlich geschlossen werden, entstehen die sogenannten Explosivlaute an allen drei Thoren: *p*, *t*, *k*. Geschieht die Oeffnung und Schliessung mehr allmälig, so werden die Laute weicher: *b*, *d*, *g*. Strömt die Luft allmälig durch die verengten Thore, so entstehen wieder andere Geräusche: *f*, *v*, *s* (scharf), *ch*. Geschieht Letzteres unter Mittönen der Stimme, so entstehen *w*, *s* (weich), *l*, *j*. Ist das Thor verschlossen und entweicht der Luftstrom unter Mittönen der Stimme durch die Nase: *M*, *N*; öffnet und schliesst sich das Thor abwechselnd während des Durchströmens der Luft, so wird das *R* gebildet, das entweder an dem Zungen- oder Gaumenthor entsteht, je nach dem Dialekt oder der persönlichen Sprechgewohnheit. Die zusammengesetzten Konsonanten entstehen analog den zusammengesetzten Vokalen durch rasche Kombination der verschiedenen Mundstellungen, so dass man in ihnen stets Doppelkonsonanten bekommt.

Ausser den Geräuschen der Konsonanten können auch noch eine Reihe anderer in der Mund- und Rachenhöhle erzeugt werden, die aber nicht zur Sprachbildung als Laute benutzt werden. Es werden nur diejenigen dazu verwendet, deren Verbindung mit einander leicht ist. Jede Sprache enthält eine gewisse Anzahl dieser möglichen Laute, und es entstehen dadurch charakteristische Unterschiede in den einzelnen Sprachen, dass jede gewisse Klassen dieser Laute oder einzelne derselben vorzugsweise, andere sparsam oder gar nicht anwendet. Es finden sich in den Buchstaben analoge Geräusche, welche in der Sprache nicht, wohl aber zu sonstigen Bezeichnungen von Gefühlen, z. B. Schreien, benutzt werden; man könnte sie im Gegensatz zu der erlernten die natürliche Stimme nennen. Unter den möglichen Konsonanten-Geräuschen, die zur eigentlichen, erlernten Sprache nicht benutzt werden, kommen sowohl explosive als anderweitige continuirliche Geräusche vor: das Schmatzen, Gurgeln, Räuspern, Hemsen, Aechzen, Küssen, Niesen, Stöhnen, Schlürfen, Schnalzen mit der Zunge. Die Schnalzlaute kommen bei den Hottentotten in der Sprache vor, sowie bei andern afrikanischen Völkerschaften. Auch sie werden von uns hier und da zur Bezeichnung von Gemüthsstimmungen allein benutzt, analog dem Schrei.

Eine richtige Sprache setzt eine normale Bildung der Mundhöhle und richtige Innervation der Sprachorgane voraus. Eine Oeffnung im Gaumen z. B. macht die Sprache näselnd, da nun ein Theil der Luft auch durch die Nase entweichen kann. Durch Ungewandtheit und Unbeweglichkeit der Zunge und Störungen der Innervation entsteht das Stammeln und Stottern. Die Bildung richtiger Laute setzt das Vermögen des Hörens voraus. Taubgeborene lernen nur schwer eine Art von Lauten ziemlich roher Art herzorzubringen. Bei Taubstummen ist die Stummheit Folge des mangelnden Gehöres. Wenn ihnen durch viele Mühe Articulation gelehrt wurde, so bleibt ihre Sprache doch eine Art Geheul, da sie des Regulators durch das Gehör entbehren. Das Sprechen setzt normalen Verstand voraus. Blödsinnige haben keine Sprache, die Laute, die sie articuliren, haben keine Bedeutung. Nur dadurch, dass der, welcher Laute articulirt, einen bestimmten Sinn mit den Worten verbindet, eine bestimmte Bedeutung in die Reihenfolge der Worte legt, werden die Laute zur Sprache. Ein Vogel kann Worte aussprechen, aber er spricht nicht. Die Sprechwerkzeuge stehen in ganz eigenthümlichen Beziehungen zu dem Seelenorgane; es können die Bewegungen der Zunge nach Hirnverletzungen noch vorhanden sein, so dass das Schlucken möglich bleibt, während das Vermögen zu sprechen verloren ist: Aphasie (cf. bei Gehirn).

Zur Entwickelungsgeschichte. — Die Fähigkeit, Stimme zu bilden, ist eine nach den verschiedenen Altern verschiedene. Im Fötus und neugeborenen Kinde ist der Kehlkopf verhältnissmässig sehr klein, der Schildknorpel ist noch rund und macht keinen Vorsprung am Halse. Es sticht diese geringe Entwickelung sehr ab gegen die verhältnissmässig starke, welche ein Theil der Esswerkzeuge: das Zungenbein, die Zunge schon erkennen lassen. Da

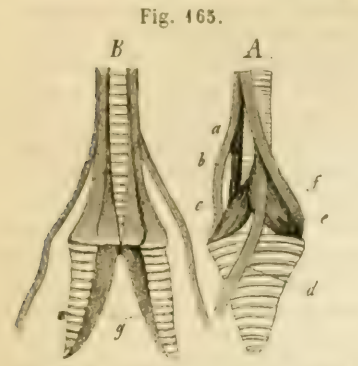
der Schildnorpel noch wenig ausgebildet ist, so sind die Stimmbänder noch sehr kurz, die Knorpel selbst sind noch sehr biegsam. Erst mit Eintritt der Geschlechtsreife verändert sich die Gestalt und Grosse des Kehlkopfs wesentlich. Die Entwickelung der Geschlechtstheile veranlasst eine Ernährungszunahme in mehreren Organen, so auch in dem Kehlkopf, seine Dimensionen nehmen plotzlich zu. Es entsteht dadurch eine Veranderung in der Stimmlage, da sich die Stimmbänder nicht unbedeutend verlängern: der Stimmwechsel. Die Alt- oder Sopranstimme des Knaben verwandelt sich in den männlichen Bass oder Tenor. Auch bei Mädchen findet sich ein analoger Vorgang, doch von etwas geringerer Bedeutung. Bei Kastraten, welche vor der Geschlechtsentwickelung entmannt wurden, tritt der Stimmwechsel nicht ein, die Stimme bleibt dann hoch, ja selbst höher, als der Sopran der Frauen. Die Aussprache der Kinder ist von der der Erwachsenen sehr verschieden, der Grund dafür liegt in der Verschiedenheit der Sprachorgane. Die Zähne sind klein, oder fehlen noch theilweise oder ganz; die Zunge ist verhältnissmässig gross, die Lippen länger als nöthig wäre, die geschlossenen Kinnladen zu bedecken, die Nasenhöhlen sind noch nicht vollkommen entwickelt. Aehnliche Veränderungen: Mangel der Zähne, Länge der Lippen finden sich auch im Greisenalter wieder ein, die das Sprechen erschweren, so dass die Sprache des Greises sich wieder der kindlichen nähert. Die allgemeine Muskelschwäche des Greises zeigt sich auch bei der Lautbildung und Sprache. Die Stimme ist schwach, zitternd, gebrochen, ebenso der Gesang, es fehlt den Muskeln an Kraft, langdauernde Contractionen auszuführen.

Beobachtungsmethoden. — Kehlkopfspiegel. — Zur Beobachtung der Thätigkeit der lebenden Stimmbänder bei der Stimmbildung dient der Kehlkopfspiegel (Garzia, Czermak, Türck u.v.A.). Er besteht aus einem kleinen, an einem Griffe befestigten Metallspiegel, den man, um das Beschlagen durch die Athemfeuchtigkeit zu verhüten, erwärmt in den Mund einführt und dort direct über dem Kehlkopfeingang unter einem Winkel von 45⁰ festhält. Der Beobachter macht sein Auge gleichsam zum Ausgangspunkt concentrirten Lichtes, indem er durch einen central durchbohrten Spiegel, der das Licht einer hellen Lampe in den weit geöffneten Mund des Beobachteten und auf den dort befindlichen Kehlkopfspiegel wirft, das Bild der Stimmbänder in letzterem beleuchtet. Der Beobachtete hat dabei die Zunge möglichst weit aus dem Munde herauszustecken. Die grundlegenden Beobachtungen über die Wirkung der Stimmbänder wurden von J. Müller theils an Modellen, theils an Thieren vermittelst Vivisectionen, oder an todten Kehlköpfen angestellt, bei denen man die Muskelwirkung im Kehlkopf durch entsprechend angebrachte Fäden (Harless) nachahmen kann, welche über Rollen laufend durch Gewichte gespannt werden. Ein Blasebalg oder der Mund des Experimentators diente zum Anblasen.

Zur vergleichenden Anatomie der Stimmwerkzeuge. — Bei den Säugethieren ist der Kehlkopf im Allgemeinen dem menschlichen analog gebildet, bei einigen Affen mit besonders lauter Stimme kommen noch besondere Resonanzorgane hinzu. Bei den anthropoiden Affen: Gorilla, Chimpanse, Orang-Utang, Hylobates, buchten sich die Morgagni'schen Ventrikel zu, oft bis zum Schlüsselbein herabreichenden, Kehlsäcken aus, die zwischen Schildknorpel und Zungenbein, ausserhalb des Kehlkopfs liegen. Auch beim Menschen kommen übrigens hier und da Ausbuchtungen der Morgagni'schen Ventrikel vor, welche auch bis ausserhalb des Kehlkopfs reichen können (W. Gruber, Rüdinger). Grössere häutige Kehlsäcke finden sich auch bei dem Mandrill, Pavian, dem Makaken (Cuvier). Am stärksten ist ein resonirender Apparat bei dem amerikanischen Brüllaffen Mycetes entwickelt: Zungenbein und Schildknorpel, auch der Kehldeckel sind aufgetrieben, von den Ventrikeln gehen mehrere Seitensäcke aus, zu denen noch Sacci laryngopharyngei kommen. — Auch die Stimme der Amphibien entsteht im Kehlkopf, Frösche und Krokodile haben Stimmbänder. Bei Pipa gehen dagegen die Töne der Stimme von festen schwingenden Knorpelstäben aus, die an einem Ende in dem grossen Kehlkopf befestigt bei dem Anblasen wie angeschlagene Stimmgabeln oder feste Zungen in Schwingungen gerathen (Mayer, J. Müller). Auch einige Fische haben

Stimme, ohne dass man die betreffenden Organe genau kennt, das Anblasen geht hiebei vielleicht von der Schwimmblase aus, die hierzu reichliche Muskeln besitzt.

Fig. 165.



Unterer Kehlkopf. Singmuskelapparat des Raben. *A* von der Seite, *B* von vorne gesehen. *a—f* Muskeln zur Bewegung des unteren Kehlkopfes. *g* Membrana tympaniformis.

Das Stimmorgan der Vögel, der untere Kehlkopf, sitzt im Gegensatz zu dem der Säuger an der Theilungsstelle der Luftröhre. Es wird in den meisten Fällen schon äusserlich durch die Verschmelzung mehrerer Luftröhrenringe zu der »Trommel« angedeutet. Der letzte dieser Ringe bildet vorn und hinten einen Vorsprung, meist sind beide Vorsprünge durch einen knöchernen Querbalken (Leiste) verbunden. Dadurch wird das Ende der Luftröhre in zwei Theile getheilt. Der Steg geht vorne und hinten bogenförmig nach abwärts und hält eine Schleimhautfalte, Membrana tympaniformis interna, wie in einem Rahmen ausgespannt. Eine andere Schleimhautfalte, Membrana tympaniformis externa, spannt sich meist zwischen dem letzten Tracheal- und dem ersten Bronchialring aus, sie springt bei Annäherung der Ringe erschlafft nach innen vor. Diese beiden Schleimhautfalten fungiren als Stimmbänder, die Stimmritze ist doppelt; bei den Singvögeln kommt noch eine dritte Falte, die sich vom Stege erhebt, hinzu. Der Spannungsgrad der Ränder der Stimmmembranen, die Weite der Stimmritzen wird durch eine besondere Muskulatur bestimmt, bei den Singvögeln durch einen aus 5—6 Muskelpaaren gebildeten Singmuskelapparat Fig. 165.

Neunzehntes Capitel.

Mechanik und Chemie der Muskeln.

I.

Mechanik der Muskeln.

Allgemeine Wirkungsweise der Muskeln und ihr Bau.

Die Bewegungsmöglichkeit des menschlichen Organismus ist durch die starren Gerüsttheile des Skeletes gegeben, dessen mechanische Einrichtungen Stellungsveränderungen der einzelnen Knochen gegen einander erlauben oder verbieten.

Es ist, wie wir sahen, nicht unmöglich, die an dem menschlichen Körper zur Erscheinung kommenden Lokomotionen und Bewegungen allein mit Berücksichtigung der Skeleteinrichtungen zu verstehen. In unserer Darstellung dieser Verhältnisse (Cap. XVIII.) stiessen wir jedoch vielfältig auf die Nothwendigkeit, äussere auf das Knochengerüst einwirkende Kräfte zur Erklärung der Bewegungen zu Hülfe nehmen zu müssen. Diese Kraftwirkungen erzeugen Stellungsveränderungen der Gelenke gegen einander, hauptsächlich Streck-, Beuge- und Rollbewegungen. Wir sahen z. B. bei dem Mechanismus des Gehens das Fortstossen des Rumpfes in einer horizontalen Linie auf ebenem Boden durch die aktive Wirkung zweier in verschiedener Richtung gekrümmter und sich streckender Gelenke hervorgebracht; das Pendeln des passiven Beines wurde durch eine aktive Beugung in den Gelenken und die damit gegebene Verkürzung des Beines ermöglicht.

Die Betrachtung der Mechanik der Bewegungen des menschlichen Körpers lässt uns nach den die passiven, starren Maschinentheile aktiv bewegenden Kräften und ihrer Wirkungsweise fragen.

Bei der Zergliederung des Menschenleibes stossen wir auf eine grosse Anzahl massiger, roth gefärbter, elastischer Bänder, welche, von mannigfacher Form und Grösse, sich in sehr verschiedenen Richtungen mit den Knochen verbunden zeigen: es sind die S k e l e t m u s k e l n, welche beinahe die H ä l f t e, etwa 45 % der gesammten Masse des Körpers ausmachen und die Mehrzahl der Knochen fast vollkommen in ihre Fleischmassen einschliessen. Die Muskeln sind in erster Linie die aktiv bewegenden Organe, in ihren Eigenschaften, in ihrer Anordnung finden wir jene Momente realisirt, welche zu den ausgiebigen

Bewegungen, zu den zweckmässigen Stellungsveränderungen der Knochen gegen einander nöthig sind, welche wir im vorstehenden Capitel im Allgemeinen kennen gelernt haben.

Die Muskeln entfalten ihre Wirksamkeit, die eine Bewegung der Maschinentheile hervorruft, dadurch, dass sie unter bestimmten Verhältnissen einer wesentlichen Gestaltsveränderung, der Contraction, fähig sind, welche sich im Ganzen als ein Kürzer- und Dickerwerden charakterisiren lässt. Alle Muskeln sind im Stande, sich zusammenzuziehen, zu contrahiren, sich in ihrer Längsrichtung zu verkürzen, wobei sie in der Querrichtung (Dicke) anschwellen, während das Volum etwa dasselbe bleibt (nach Valentin, Schmulewitsch u. A. wird es etwas verringert). Dadurch, dass der Muskel abwechselnd in den verkürzten und wieder in den verlängerten (nicht verkürzten) Zustand überzugehen vermag, können durch ihn abwechselnde Bewegungen der durch Gelenke verbundenen Skeletabschnitte hervorgerufen werden.

Die Anordnung der Muskeln ist stets eine solche, dass sie nur an ihren beiden Enden — dem Ursprung und Ansatz — an Knochen befestigt sind, doch in der Art, dass sie dabei stets ein, seltener zwei Gelenke überspringen. Sie verwandeln dadurch die Knochen in Hebel. Die Mehrzahl dieser Hebel sind einarmige, d. h. der Angriffspunkt des Muskels, der Kraft befindet sich auf derselben Seite des Drehpunktes wie der Angriffspunkt der Last. Meist liegt der Angriffspunkt des Muskels dabei dem Drehpunkt des Hebels sehr nahe, so dass der Muskelhebelarm kürzer ist als der der Last, wodurch für die Hebung verhältnissmässig schwerer Lasten ein bedeutenderer Kraftaufwand nöthig wird als im umgekehrten Falle. Die Hebung der Lasten kann bei dieser Einrichtung dafür mit um so grösserer Geschwindigkeit ausgeführt werden: die Knochen werden durch ihre Muskeln in sogenannte Geschwindigkeitshebel verwandelt, die rasche Beweglichkeit des Körpers wird durch diese Art des Ansatzes in hohem Maasse befördert.

Im Allgemeinen lässt sich die Wirkungsweise der Skeletmuskeln auf die Knochen als die einer linearen Zugkraft auffassen; wir können uns einen bandartigen Muskel reducirt denken auf eine Linie, welche die Ansatzpunkte mit einander verbindet. Die Wirkung findet in der Art statt, dass durch die Verkürzung dieser Linie der Ansatzpunkt des Muskels an einem beweglichen Knochenhebel, dem Ursprungspunkte, der an einem entweder absolut festen oder durch anderweitige Einwirkungen festzustellenden Theile des Skeletes sich findet, genähert wird.

Die Wirkung der linearen Zugkräfte wird vor Allem durch die mechanischen Gelenkeinrichtungen modificirt. Jene Hemmungsmechanismen, die wir an den Gelenken kennen gelernt haben, kommen bei den entsprechenden Gelenkstellungen zur Wirksamkeit; überdies werden sich die Wirkungen auch noch modificiren nach der Richtung, unter welcher die Zugkraft den Hebel angreift. Denken wir uns ein einfaches Charniergelenk, auf welches eine lineare Zugkraft einwirkt. Das Gelenk lässt Beugung und Streckung in zwei einander entgegengesetzten Richtungen zu, deren Ausgiebigkeit durch die speciellen Gelenkeinrichtungen beschränkt wird. Die Muskeln laufen zum grossen Theile den Knochen parallel. Denken wir uns das Gelenk gestreckt, so dass beide beweglich verbundenen Knochen in einer geraden Linie mit einander liegen,

und lassen nun eine den Knochen parallel laufende Zugkraft in Wirksamkeit treten, so wird die Gesammtkraft nicht eine Stellungsveränderung der Knochen gegen einander, sondern nur eine Zusammenpressung der Gelenkenden hervorbringen können. Lassen wir dagegen die Zugkraft nicht parallel mit den Knochen verlaufen, sondern unter einem Winkel auf sie wirken, so wird unter Umständen kein Bruchtheil derselben zum Zusammenpressen der Gelenkenden, sondern die ganze Kraftsumme zur Stellungsveränderung der Knochen gegen einander verbraucht werden. Sind bei den normalen Skeletbewegungen die Knochen einmal etwas gegen einander gebeugt, so kommt dieser zweite Fall mehr und mehr zur Verwirklichung; dagegen wird zu Anfang einer Bewegung aus der gestreckten Lage in die gebeugte und umgekehrt zu Ende einer Umwandlung einer Beugung in eine Streckung ein grösserer Theil der Kraft zum Zusammenpressen der Gelenkenden verbraucht werden.

In der Natur ist der Muskelansatz an den Knochen stets in der Art modificirt, dass ein wirklich paralleles Angreifen der Zugkraft nicht eintreten kann. Die Muskeln setzen sich entweder an Knochenvorsprünge an oder gehen über solche vor ihrem Ansatz weg, so dass diese als Rollen wirken und den Ansatz wesentlich verbessern, dadurch wird schon bei Beginn der Bewegung ein ansehnlicherer Theil der Muskelwirkung für eine Stellungsveränderung der im Gelenk verbundenen Knochen verwendbar. Muskeln, welche so angeordnet sind, dass bei ihrer gleichzeitigen Contraction im betreffenden Gelenk keine Stellungsveränderung eintritt, nennt man Antagonisten.

Die Fleischbündel, welche die Anatomie als Muskelindividuen bezeichnet und gesondert benennt, stellen physiologisch, functionell keine Einheiten dar, denn keineswegs werden die Fasern eines anatomisch unterschiedenen Muskels immer gleichzeitig und gleich stark in Erregung versetzt. Die zahlreichen in jeden Muskel eintretenden Nerven ermöglichen es, dass sich die einzelnen Faserbündel des Muskels unabhängig von einander contrahiren. Zur Ausführung einer Drehung um eine bestimmte Axe scheinen z. B. alle jene Muskelfasern, welche ein positives Moment für die Drehung des Knochens in diesem Sinn haben, immer zusammen zu wirken, ohne Rücksicht darauf, ob sie zu Muskeln gehören, welche ihrer Gesammtzugrichtung nach Antagonisten oder Genossen sind.

Die Bewegung in reinen Charniergelenken ist Beugung und Streckung, Drehung um die Gelenkaxe. Auch bei den Kugelgelenken lassen sich die Stellungsveränderungen der im Gelenk verbundenen Knochen auf Beuge- und Streckbewegungen zurückführen, wenn wir uns durch den Drehpunkt des Gelenkkopfes nach den verschiedensten Richtungen lineare Axen gelegt denken. Um diese Axen lassen sich dann Beugungen und Streckungen ausführen, die in ihrem Zustandekommen sich nicht wesentlich von denen in Charniergelenken unterscheiden. Nur durch die Anzahl der möglichen Axen wird das Resultat ein complicirteres. Analog ist es bei allen anderen wahren Gelenkformen, die sich mehr den Charnieren oder mehr den Kugelgelenken anschliessen. Die Art der Muskelwirkung ist stets die gleiche.

Ihrem gröberen Bau nach bestehen, wie unsere früheren Betrachtungen lehrten (S. 39), die Muskeln aus der eigentlichen rothen Fleischmasse, die sich aus Längs- oder Querbündeln zusammengesetzt zeigt; die einzelnen Fleisch-

bündel werden durch manchmal Fettzellen enthaltendes Bindegewebe zusammengehalten (Fig. 166, 167). Das Bindegewebe ist im Muskel wie überall Träger der Blutgefässe, deren gröbere Verbreitung in den Muskeln keine charakteristischen Eigenthümlichkeiten zeigt. Die Fleischbündel selbst bestehen mikroskopisch aus jenen uns bekannten Muskelprimitivbündeln oder Muskelschläuchen, die in ihrem zähflüssigen Inhalt eine Querstreifung erkennen lassen (Fig. 168), (Fig. 17, S. 19). Auch diese letzten Muskelelemente, welche vielfältig von der Länge des ganzen Muskels sind, manchmal mit ziemlich scharfer Spitze endigen, ehe sie das Ende des Muskels erreicht haben, sind in zartes Bindegewebe eingekittet; in diesem verzweigen sich die letzten Muskelkapillaren in für die Muskeln typischer, sehr regelmässiger Weise. Das Kapillarnetz bildet rechteckige Maschen, deren längere Seiten der Längsaxe des Muskelprimitivbündels parallel laufen (Fig. 169); die kürzeren, die längslaufenden Gefässchen quer mit einander verbindenden Kapillaren, stehen senkrecht auf der Längenaxe der Primitivbündel. So unterscheidet man längs- und quergerichtete Kapillaren,

Fig. 166.



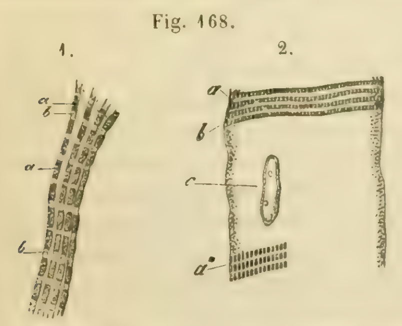
Querschnitt des menschlichen Biceps brachii. *a* Die Muskelfäden; *b* Querschnitt eines grösseren Gefässes; *c* eine Fettzelle in einem grösseren bindegewebigen Zwischenraume; *d* Haargefässdurchschnitte in der dünnen Bindegewebsschicht zwischen den einzelnen Fäden; *e* die Kerne derselben, dem Sarkolemma anliegend.

Fig. 167.



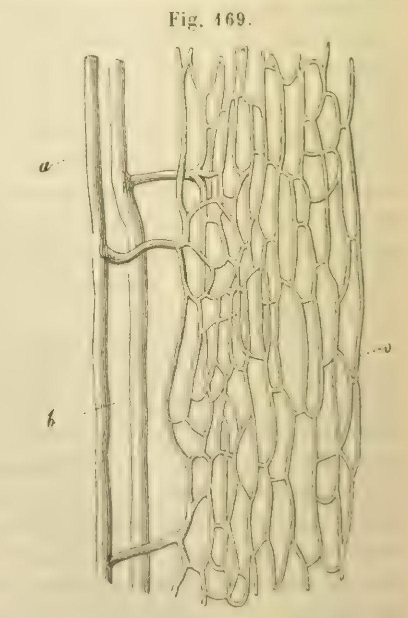
Von Fettzellen durchwachsener menschlicher Muskel. *a* Muskulöse Fäden. *b* Reihen der Fettzellen.

Fig. 168.



Zwei Muskelfäden, vom Proteus 1, und Schwein 2, bei 100facher Vergrösserung (ersterer Alkoholpräparat, letzterer mit Essigsäure von 0,01% behandelt). *a* Fleischtheilchen. *b* helles Längsbindemittel. Bei *a* sind die Sarcous elements von einander entfernter und das Querbindemittel sichtbar. *c* Kern.

Fig. 169.



Kapillargefässe der Muskeln, 250 mal vergr. *a* Arterie; *b* Vene; *c* Kapillarnetz.

welche ein reiches, sehr feines Netz von Gefässen darstellen, das von keinem anderen Kapillargeflechte an Regelmässigkeit übertroffen wird, und die mikroskopischen Muskelelemente ziemlich reichlich mit Blut versorgt. Die Muskelkapillaren gehören zu den feinsten des ganzen Körpers, sie sind von 0,004 bis 0,006 mm breit.

Mikroskopik der Muskelcontraction. — Nach Krause beruht die Querstreifung des Muskels auf der Zusammensetzung aus »Muskelkästchen«. Diese Anschauung hat Widerspruch und Bestätigung erfahren, letzteres vorzuglich von Merkel, der seine Beobachtungen an den Arthropodenmuskeln auf die verschiedenen physiologischen Zustände des Muskels bezieht. Seine Resultate sind: ein einfaches Muskelelement besteht aus einer membranosen Hulle, welche sich stets gleich bleibt, und einem Inhalt, der seine Lage und Gestalt ändert. Die Hulle ist rohrenformig und jederseits durch eine Endmembran geschlossen. Dieses geschlossene kurze Rohrchen (Muskelkästchen K.) wird durch eine mit der Seitenwand verwachsene Mittelscheibe in zwei von einander völlig getrennte Fächer getheilt. Jedes dieser Fächer enthält feste contractile Substanz und Flüssigkeit. Im ruhenden wie im contrahirten Zustande liegt immer die contractile Substanz eines Faches der contractilen Substanz eines Nachbarfaches an. In der Ruhe berühren sich die beiden contractilen Hälften eines und desselben Muskelelementes, nur durch die Mittelscheibe getrennt, während im thätigen Muskel die contractile Substanz an beide Endscheiben rückt und dadurch in Contact mit der contractilen Substanz des nächst oberen und nächst unteren Elementes tritt. Anstatt dass also in der Ruhe das Muskelelement (Muskelkästchen K.) in seiner Mitte einen ganzen Querstreifen enthält, zeigt es in der Thätigkeit je einen halben an beiden Enden. Dieser Platzwechsel geschieht durch Vermittelung eines Zwischenstadiums, in welchem die sonst so scharfe Trennung zwischen flüssigem und festem Inhalt aufgehoben ist und eine innige Mengung der beiden Substanzen stattfindet (Merkel). Zu analogen Anschauungen über den Bau des Muskels kam Floegel. Doenitz hält dagegen die Fibrille für das primitive Muskelelement und analog Wagner und Krumnach. Letzterer erklärt mit Kölliker als Structurelement des quergestreiften Muskels: das Muskelsäulchen, columna muscularis (Kölliker). Dieses besteht aus einer hellen glänzenden Grundsubstanz, in welcher in bestimmten Zwischenräumen matte, prismatische, doppeltbrechende Körper, die sarcous elements, Fleischtheilchen enthalten sind. Zwischen den Muskelsäulchen ist eine Kittsubstanz. Eine grosse Anzahl von Muskelsäulchen bilden das Muskelprimitivbündel, das von einem Sarkolemm umgeben ist.

Aus dem physiologischen Laboratorium Leipzig kommen von D. Newman ganz abweichende Angaben. Die auf — 3° C. abgekühlte, gefrorene, aber noch lebende, vollkommen ruhende Primitivfaser zeigt keine Querstreifung, diese tritt auf, wenn sie beim Aufthauen durch Wechselströme gereizt wird. Die Querstreifung beruht auf Ausscheidung einer fettigen doppeltbrechenden Substanz, welche in der Mitte jedes »Muskelkästchens« eine zusammenhängende, in die Quere sich ausdehnende Schicht bildet.

Die Muskeln selbst laufen an ihren beiden Enden in die Sehnen und Fascien aus, mit denen sie vom Knochen entspringen und sich an ihn ansetzen. Sehnen und Fascien bestehen aus festem, elastischem Bindegewebe. Mikroskopisch unterscheidet man an den Sehnen im Zusammenhang mit ihrer Bildungsgeschichte: Sehnenbündel, primäre, sekundäre und tertiäre. Die primären Bündel werden in der Sehne durch lockeres Bindegewebe zusammengehalten, in welchem elastische Fasern vorkommen, und worin die Blutgefässe, Lymphgefässe und Nerven der Sehne verlaufen; es ist das Ernährungsorgan der Sehne: Peritendineum (Kollmann), von analoger Bedeutung für die Sehne wie das Periost für den Knochen, das Perichondrium für

den Knorpel (cf. S. 24, 34). Die Muskelprimitivschläuche endigen am Sehnenansatz, das Bindegewebe zwischen den Muskelbündeln, das Perimysium steht in directer Verbindung mit der Sehne (Fig. 170). Nach C. May's Beobachtungen (an den Fingersehnen des Frosches) finden sich im Innern der Sehnenbündel keine Blut- und Lymphgefässe, der Säftestrom folgt einem System von Lücken zwischen den Fibrillen und Fibrillenbündeln: inter- und intrafasciculäre Saftbahnen. Golgi gibt zweierlei Endigungen von Nerven in den Sehnen an.

Im mechanischen Sinne sind Sehnen und Fascien zähe, wenig dehnbare Stränge, welche den breiten und dicken Querschnitt des eigentlichen, fleischigen Muskels auf einen weit kleineren zurückführen, wodurch es möglich wird, sehr voluminöse Muskelmassen in ihrer Wirkung auf sehr kleine Ansatzstellen zu beschränken. Zugleich übertragen sie, wenn sie eine bedeutendere Länge besitzen, wie bei den die Hand und den Fuss bewegenden Muskeln, die Muskelzüge auf entferntere Punkte. Durch ihr geringes Volumen sind sie besonders da verwendet, wo es wie bei den Fingern nothwendig war, die Skeletgrundlage der Glieder nicht durch Muskelmassen zu umhüllen, um den Organen eine geringe, ihre Beweglichkeit möglichst wenig beschränkende Dickenausdehnung zu geben. Dadurch, dass sie vor ihrem Ansatz über Knochenrollen und ähnlich wirkende Vorsprünge hingehen, modificiren resp. verbessern sie in der oben erwähnten Weise die primäre Zugrichtung der Muskeln. Ihre Zugrichtung wird noch überdies bestimmt durch die festen Sehnenscheiden, durch welche sie hindurchlaufen, die ihnen eine unveränderliche Lage anweisen. Die Bewegung in den Scheiden wird durch deren inneren Synovialüberzug, durch die zähe Flüssigkeit, welche die Wände glatt und schlüpfrig erhält, der Gelenkschmiere analog, ohne starke Reibung ermöglicht. Im Gegensatz zu den Sehnen übertragen die breiten Fascien die Muskelwirkung auf breite Flächen. Theilweise dienen sie auch zur Vervielfältigung der Ansatzpunkte der Muskeln.



Fig. 170.



Zwei Muskelfäden (*a*, *b*) nach Behandlung mit Kalilauge. Der eine noch in Verbindung mit dem Sehnenbündel (*c*) der andere von demselben (*d*) abgelöst.

Die Sehnen sind so wenig dehnbar, dass sie in dieser Beziehung im Gegensatze zu den Muskeln noch zu den starren Maschinentheilen, an welchen die Zugkraft der Muskeln angreift, gezählt werden müssen. Sie vermitteln es mit, dass die Muskelkraft, welche überall in gleicher Weise in Wirksamkeit tritt, in zweckentsprechender Art verwendet werden kann. Sie sind in dieser Beziehung den Uebertragungsbändern und Seilen analog, mit deren Hülfe die Mechanik die rohe Kraft ihrer Dampfmaschinen z. B. auf entferntere Plätze überträgt, wodurch es ihr möglich wird, dieselbe Kraft zur Bewegung der verschiedenartigsten Maschinen zu verwenden.

Die mechanischen Grundbedingungen, auf welchen die Leistungen der Muskeln beruhen, sind vor Allem zwei:

Die aktive Beweglichkeit des Muskels, sein Contractionsvermögen; die passive Beweglichkeit desselben, seine Elasticität.

Die Elasticität und Dehnbarkeit der ruhenden Muskeln.

Da die Knochen ziemlich allseitig von Muskeln umgeben sind, so würde, vorausgesetzt, dass die Muskeln im ruhenden Zustande nicht dehnbar wären, keine Bewegung stattfinden können. Es ist die Grundbedingung für die Ausführung von Bewegungseffecten von Seiten eines aus der Zahl der ein Gelenk umlagernden Muskeln, dass die übrigen ruhenden Muskeln dehnbar seien, um sich der Veränderung der Stellung der Knochen gegen einander anzupassen.

Die Muskeln sind nicht nur in hohem Maasse dehnbar, sondern auch sehr vollkommen elastisch (E. Weber). Wenn man an einen lebensfrischen, ausgeschnittenen, längsfasrigen Muskel ein Gewicht anhängt, so dehnt er sich beträchtlich aus, kehrt aber nach dem Aufhören der Wirkung der dehnenden Kraft wieder vollkommen zu seiner ursprünglichen Länge zurück.

Es leuchtet ein, dass mit der Elasticität des Muskels eine bedeutende Arbeitsersparung im Organismus gegeben ist. Bei der aktiven Bewegung der Muskeln werden ihre Antagonisten entsprechend gedehnt. Die Rückführung der bewegten Knochen in ihre Ruhelage erfordert der Elasticität der Muskeln wegen keinen aktiven Kräfteaufwand; es genügt neben der Wirkung der Schwere die elastische Wirkung des gedehnten Muskels, die ihn zwingt, seine natürliche Länge wieder anzunehmen, sobald der dehnende Zug nachlässt.

Die Wirkung eines dehnenden Zuges auf den Muskel, z. B. das Anhängen von Gewichten an einen ausgeschnittenen Muskel ist der Zeit nach verschieden. Sowie der Muskel belastet wird, dehnt er sich rasch sehr bedeutend aus, aber erst nach und nach nimmt er die vollkommene Verlängerung an, die der angewendeten Zugkraft entspricht. Man kann sonach eine starke Anfangsdehnung und eine weit geringere Schlussdehnung unterscheiden. Analog ist die Wirkung der elastischen Kräfte, welche den Muskel nach dem Nachlassen des Zuges wieder zu seiner natürlichen Länge zurückbringen. Der Muskel verkürzt sich zuerst sehr rasch und dann sehr allmälig, so dass er erst nach Verlauf einer längeren Zeit seine Verkürzung vollendet hat. Aehnlich verhalten sich alle organischen Körper, z. B. Seidenfäden. Wie bei diesen nimmt die Dehnbarkeit des Muskels ab, wenn er schon eine Ausdehnung erlitten hat. Das doppelte oder dreifache etc. Gewicht dehnt ihn nicht um die doppelte oder dreifache etc. Länge. Ein gleiches Gewicht bringt eine um so geringere Dehnung hervor, je mehr der Muskel bereits gedehnt ist. Ueber ein bestimmtes Maximum ist der Muskel nicht mehr dehnbar, er zerreisst dann endlich, wenn der Zug noch bedeutender gesteigert wird. Er verhält sich hierin qualitativ wie die elastischen Bandapparate der Gelenke, welche, nachdem sie eine Dehnung bis zu einem gewissen Grad erlitten haben, nun sich jeder weiteren Ausdehnung starr widersetzen; quantitativ ist die Ausdehnbarkeit des Muskels eine weit grössere, als die der Bänder, Sehnen und Kapselmembranen.

Bedeutsamer als die eben besprochenen Verhältnisse ist die mechanische Einrichtung, durch welche die eigene Elasticität des Muskels zur Arbeitsersparung bei seiner Contraction verwendet wird. Die Muskeln sind im leben-

den Körper so an ihre Knochen befestigt, dass sie dadurch etwas über ihre natürliche Länge gedehnt werden; so kommt es, dass sie bei dem Lostrennen von ihren Ansatzpunkten etwas zurückschnellen, dass die Muskelwunden klaffen. Bei der eintretenden Contraction geht also keine Kraft und Zeit für eine Anspannung des Muskels verloren, so dass durch sie sofort Bewegungen in den betreffenden Knochen eingeleitet werden können.

Der thätige Muskel ist dehnbarer, als der ruhende (Weber).

Die Contractilität des Muskels.

Die Eigenschaft der aktiven Contractilität ist es, welche den Muskel zur Arbeitsleistung befähigt. Der Vorgang wurde oben im Allgemeinen charakterisirt. Das Kürzer- und Dickerwerden des Gesammtmuskels lässt sich auch an seinen einzelnen Primitivcylindern nachweisen. Während der Ruhe sind diese an ausgeschnittenen Muskeln im Zickzack gebogen oder geschlängelt, reizt man sie unter dem Mikroskop auf electrischem Wege zur Zusammenziehung, so sieht man sie sich sehr plötzlich gerade strecken unter Verminderung ihrer Länge und Vergrösserung ihres Querschnittes. Ed. Weber beobachtete, dass dabei die Querstreifung deutlicher und schärfer erscheine und die Querstreifen näher an einander rücken. Die doppeltbrechenden Fleischtheilchen (Fig. 168), welche nach Brücke aus Disdiaklasten, doppeltbrechenden Körperchen kleinster Grösse zusammengesetzt sind, scheinen kürzer und breiter zu werden (cf. oben S. 697). Die Verkürzung, welche der Muskel dabei erleidet, ist im Maximum um $^5/_6$ der Länge des ruhenden (Weber).

Durch die Verkürzung wird vom Muskel Arbeit geleistet. Denken wir uns einen Muskel ausgeschnitten an einem Ende aufgehängt, am anderen mit einem Gewichte belastet, so hebt er durch seine Verkürzung das Gewicht und leistet damit im mechanischen Sinne Arbeit, die sich als Produkt des gehobenen Gewichtes und der Hubhöhe ausdrücken lässt. Wenn $p =$ der Last, $h =$ der Hubhöhe, so würde die Arbeit $= p\,h$ sein. Auch der unbelastete Muskel leistet bei dieser Versuchsanordnung Arbeit, indem er sein eigenes Gewicht auf die Hubhöhe erhebt, welche, um die Gesammtarbeit des Muskels bei dem Heben des Gewichtes zu finden, zu $p\,h$ addirt werden muss. Die Anschauung ergibt, dass die Hubarbeit des unbelasteten Muskels das Produkt des Muskelgewichtes mit der halben Hubhöhe ist. Beim Heben grosser Lasten kann das Muskelgewicht gegen diese verschwinden und dann vernachlässigt werden.

Jeder Muskel ist aller möglichen Grade der Verkürzung fähig bis zu einem für jeden individuell nach der Stärke seiner Lebenseigenschaften verschiedenen Maximum. Das Verkürzungsmaximum schwankt zwischen 65 und 85 % der Länge des ruhenden Muskels. Im normalen Körper sind die Muskeln derart angeheftet, dass keiner bei den von ihnen bewirkten Stellungsveränderungen der Knochen das Maximum seiner Verkürzung erreichen kann; auch bei der durch die Gelenkeinrichtungen gestatteten grösstmöglichen Verkürzung beträgt diese immer nur einen kleinen Bruchtheil der natürlichen Länge des Muskels. Die Muskeln sind überall so nahe an dem Drehpunkte der Hebel, die sie bewe-

gen, angesetzt, dass sie schon durch eine geringe Verkürzung das Maximum der Drehung, welche die Einrichtung des Gelenkes gestattet, bewirken.

Einfache Muskelzuckung. — Der Muskel vermag durch seine Contraction verhältnissmässig grosse Widerstände zu überwinden, Gewichte bis zu einem bestimmten Gewichtsmaximum zu heben. Ueberschreitet das Gewicht dieses Maximum, so kann der Muskel dasselbe gar nicht mehr bewegen. Weniger schwere Gewichte vermag er zwar noch zu heben, aber auf eine mit zunehmendem Gewichte abnehmende Höhe. Bei einem für jeden Muskel auszuprobirenden Maximalgewichte bleibt, wenn der Muskel im selben Moment belastet und zur Contraction veranlasst wird, Alles in Ruhe. Diese Grösse trägt nach Weber den Namen: absolute Muskelkraft. Sie ist dem grössten Querschnitt des Muskels proportional. Um vergleichbare Zahlen zu gewinnen, berechnet man sie auf 1 □cm Muskel. Für 1 □cm des Froschmuskels beträgt sie etwa 2,8—3,0 Kilogramm (Rosenthal), nach älteren Bestimmungen ansehnlich weniger. Henke und Knorz fanden die Grösse der absoluten Muskelkraft des Menschen im Mittel für die Armmuskulatur zu 8,187 Kilogramm, für die Unterschenkelmuskeln zu nur 5,9 Kilogramm für je 1 □cm. Als Arbeitsmaximum müsste man die Summe der Spannkräfte bezeichnen, welche im Muskel bei stärkster Reizung und höchster Erregbarkeit lebendig werden. Das Arbeitsmaximum ist aber in hohem Maasse von der Belastung des Muskels abhängig, es fällt nach Fick grösser aus, wenn während der Contraction die Belastung fortschreitend vermindert wird, wie das bei der Muskelwirkung an den Knochenhebeln thatsächlich (S. 695) der Fall ist. Für den Froschmuskel berechnet sich nach Fick das Arbeitsmaximum zu 3,3 bis 5,8 Kilogrammmeter. Fick gibt an, dass die Contractionsstärke mit der Reizstärke von 0 an bis zu einem Maximum mit konstanter Geschwindigkeit wachse und von da an konstant bleibe. Steigert man die Belastung über das Maass der absoluten Muskelkraft hinaus: Ueberlastung, so entsteht anstatt einer Verkürzung des Muskels eine Verlängerung, Dehnung desselben, die ihren Grund in der eigenthümlichen Eigenschaft des contrahirten Muskels besitzt, dehnbarer zu sein, als der ruhende (Weber S. 700), weil durch die Arbeitsleistung die Lebenseigenschaften des Muskels herabgesetzt, ja endlich gänzlich vernichtet werden können. Die normale Elasticität gehört zu den Lebenseigenschaften des Muskels, welche mit allen anderen durch die Thätigkeit in Folge gewisser, weiter unten zu beschreibender Molekularveränderungen (Anhäufung ermüdender Stoffe) beeinträchtigt wird.

Die Arbeitsleistung des Muskels setzt sich aus der Arbeitsleistung seiner Primitivmuskelschläuche zusammen; mit der grösseren Anzahl dieser letzteren, welche gleichsam Einzelkräfte produciren, die sich zur Gesammtleistung des Muskels summiren, wächst cet. par. die mögliche Arbeitsleistung des Muskels. Ein Muskel kann um so grössere Lasten auf eine bestimmte Höhe heben, je grösser sein Querschnitt ist; eine bestimmte Last hebt er auf eine um so bedeutendere Höhe, je länger er ist. Das letztere ist direct aus der Anschauung klar. Bei einem längeren Muskel wird das Maximum seiner Verkürzung einen absolut grösseren Werth besitzen, als bei einem kürzeren. Der dickere Muskel ist aus einer grösseren Anzahl von Muskelprimitivcylindern zusammengesetzt, die als Einzelkräfte wirken. Die Muskelleistung findet statt während des Ueberganges des Muskels aus seinem verlängerten (ruhenden) Zustand in den verkürzten.

Helmholtz hat den Vorgang der Verkürzung mit den schärfsten Hülfsmitteln einer Untersuchung unterworfen. Die Muskeluntersuchungen, die wir bisher genannt haben, sind an quergestreiften Skeletmuskeln angestellt worden. Ueber die Contraction der glatten Muskelfasern hatte Weber schon früher Untersuchungen angestellt, welche zu dem Resultate geführt hatten, dass sich die beiden Muskelarten in dieser Beziehung, wie es schien, sehr verschieden verhalten. Lässt man einen die Muskeln zur Contraction erregenden Einfluss, z. B. einen electrischen Reiz, auf quergestreifte Fasern einwirken, so scheint für das Auge des Beobachters der Erregungszustand des Muskels gleichzeitig mit dem Eintritt der Reizung einzutreten und wieder zu verschwinden, so wie der Reiz aufhört. Anders sind die Verhältnisse bei glatten Muskelfasern, z. B. an denen des Darmes. Bei die-

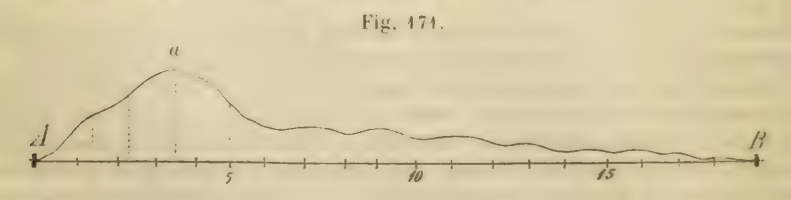
sen wird die Contraction erst eine merkliche Zeit nach dem Beginne der Reizung wahrnehmbar, steigert sich allmälig, dauert nach dem Aufhören des Reizes fort und geht allmälig erst wieder in Erschlaffung über. HELMHOLTZ löste die Aufgabe, die scheinbar blitzschnell auf einen momentan einwirkenden Reiz entstehende und vergehende Muskelcontraction der quergestreiften Fasern, in die analogen Phasen, wie die Contraction der glatten Fasern zu zerlegen. Es war von vornherein nicht unwahrscheinlich, dass sich auch in dieser Beziehung nur quantitative Verschiedenheiten bei den beiden Muskelarten finden würden, da die Histologie keine scharfe Grenze zwischen den beiden Fasergattungen findet, und die glatte, organische Faser durch eine Reihe von Zwischenstufen in die quergestreifte, animale übergeleitet wird.

Das Princip der Untersuchungsmethode, welche HELMHOLTZ anwendete, ist einfach. Befestigt man einen Froschmuskel, der noch im Vollbesitz seiner Lebenseigenschaften ist, an seinem oberen Ende unbeweglich, stösst durch sein unteres Ende einen Stift senkrecht auf die Längenachse des Muskels und bringt vor die Spitze des Stiftes eine senkrecht stehende, berusste Glastafel, so dass die Spitze die Tafel dauernd berührt, so wird bei einer Verkürzung des Muskels der gehobene Stift eine senkrechte Linie in die Russschicht einritzen, deren Höhe ein Maass für die eingetretene Verkürzung des Muskels abgibt. Bewegt man die berusste Glastafel, während der Stift anliegt und der Muskel in Ruhe ist mit einer bestimmten Geschwindigkeit vorbei, so wird der Muskel vermittelst seines Stiftes eine gerade Linie auf der Tafel ziehen. Contrahirt sich der Muskel während des Vorbeiziehens der Tafel, so wird er nicht eine gerade Linie, sondern eine Curve zeichnen, deren Vertikalhöhe (die Ordinaten der Curve), bezogen auf die gerade Linie, die der ruhende Muskel gezeichnet hatte (die Abscisse), den Verkürzungsgrössen des Muskels in den verschiedenen Momenten der Contractionsdauer, deren horizontale Ausdehnung der Zeit, welche bei dem Vorüberziehen der Tafel verlief, proportional ist. Kennt man die Geschwindigkeit, mit welcher die Fläche bewegt wird, so dass man angeben kann: die Hälfte, ein Drittel oder irgend ein beliebiges Stück derselben bedarf zu seiner Vorbeibewegung am Stifte eine bestimmte Zeit, z. B. 0,1 Minute, so ist daraus der absolute Werth eines beliebigen Stückes der horizontalen Abscisse zu berechnen.

Bei E. DU BOIS-REYMOND's Myographion wird wirklich eine berusste Glastafel, bei HELMHOLTZ's Myographion dagegen ein berusster Glascylinder, der durch ein Uhrwerk in gleichbleibende Bewegung versetzt wird, an dem Schreibstift vorübergeführt, der nicht direct, sondern erst durch eine Hebelübertragung mit dem Muskel in Verbindung steht, welche dafür sorgt, dass der Schreibstift stets an dem Cylinder schleift und nicht durch die Contraction von ihm abgehoben werden kann. Eine weitere sinnvolle Einrichtung gestattet, den Punkt am Cylinder genau zu bestimmen, an welchem der Schreibstift angekommen war, als der Reiz auf den Muskel wirkte, in Folge dessen die Muskelcontraction eintrat. Der benutzte Reiz ist von verschwindend kurzer Dauer, der momentane Oeffnungsschlag der secundären Rolle eines Magnetelectromotors, weit unter 0,0017 Secunde während.

Die Curven, welche mit diesem Apparat gezeichnet werden, haben im Allgemeinen (cf. auch unten bei Leitung der Erregung im Nerven) folgende Gestalt:

Fig. 171.



Die Linie $A B$ (die Abscisse der Curve) entspricht der Zeit zwischen der im Moment A stattfindenden Contraction bis zum Wiedereintritt der völligen Ruhe bei B. Die einzelnen Ab-

schnitte der Abscisse betragen etwa 0,03—0,04 Secunden. Die Curve gibt die Höhe an, bis zu welcher in jedem Zeitabschnitte der Muskel sich verkürzte, das Maximum der Verkürzung trifft auf den Punkt *a*, bis zu welchem die Curve rasch ansteigt, und von dem sie wieder weit langsamer abfällt, um endlich nach einer Reihe von kleineren Auf- und Abwärtsschwankungen in die Abscisse zurückzusinken. Die letzteren Curvenabschnitte, ihre Hebungen und Senkungen bedeuten keine neu eingetretenen schwächeren Contractionen, sondern sind Wirkungen der Elasticität des Muskels, der durch das Gewicht des Hebelapparates, das an ihm lastet, gedehnt wird.

Abgesehen davon lehrt die Beobachtung, dass unserer Voraussetzung entsprechend die Contraction des quergestreiften Muskels in dem kurzen Zeitraum des Bruchtheiles einer Secunde, in etwa 0,8 Secunde ganz dieselben Phasen zeigt, die wir an den glatten Muskelfasern beobachten können. Auch hier vergeht nach der Einwirkung des momentanen Reizes eine kurze Zeit, in welcher der Muskel noch in seinem ruhenden Zustande verharrt, die Reizung bleibt noch in ihren Wirkungen latent — Zeit der latenten Reizung. Diese latente Reizung dauert etwa 0,01 Secunde. Erst jetzt beginnt der Muskel seine Contraction, welche allmälig das Maximum erreicht, um von da wieder nachzulassen und endlich ganz zu verschwinden. Der Herzmuskel, die Muskeln der Schildkröte geben sehr gedehnte Zuckungscurven, ihre Zuckung läuft sehr langsam ab. Kälte und Ermüdung verzögern den Ablauf der Muskelzuckung (VALENTIN u. v. A.). HELMHOLTZ bestätigte sein Resultat noch mit Hülfe einer anderen Methode, wobei er die Zeiten nach der sogenannten POUILLET'schen Methode bestimmte.

VOLKMANN gab an, dass der Zuckungsvorgang im horizontal liegenden Muskel ganz in derselben Weise vor sich gehe, wie im aufgehängten. Nach KÜHNE behält dagegen der Muskel, wenn er auf Quecksilber liegt, sonach gar nicht, auch nicht durch sein eigenes Gewicht belastet ist, ungefähr die Form der höchsten Verkürzung bei.

Tetanische Muskelzuckung. — Die mitgetheilten Thatsachen lehren uns, dass der Vorgang der einfachen Contraction der animalen Muskeln ungemein rasch verläuft; es kann zwar durch ihn ein Gewicht gehoben werden, aber die Leistung, welche so rasch eintritt, geht auch ebenso rasch wieder vorüber. Diese fast blitzschnellen Contractionen können es offenbar nicht sein, mit Hülfe deren der menschliche Körper Lasten hebt und sich selbst in gemessenem Schritt vorwärts bewegt. Zu all diesen Leistungen bedarf es weit länger andauernde Contractionen als die sind, deren Verlauf das Myographion uns aufgezeichnet hat.

Man ist im Stande, auch solche langdauernde, tetanische Contractionen an ausgeschnittenen Muskeln hervorzurufen, wie die, mit deren Hülfe der thierische Organismus arbeitet. Lässt man nicht nur einen rasch vorübergehenden Reiz auf den Muskel einwirken, sondern lässt man eine Anzahl von Reizen (electrische Schläge z. B.) sich so rasch folgen, dass die vom ersten hervorgerufene Zuckung beim Eintritt des zweiten noch nicht das Maximum erreicht hat, so setzen sich die Einzelerfolge der Reize zusammen, und es entsteht eine stärkere und länger andauernde Zuckung: **Tetanus.** Die Wirkung des zweiten Reizes erfolgt dann so (HELMHOLTZ), als ob die Länge, welche der Muskel unter der Einwirkung des ersten Reizes bereits erlangt hatte, seine natürliche wäre, so dass er sich noch um einen entsprechenden Bruchtheil dieser Länge verkürzt. Selbstverständlich nimmt dieser Verkürzungszuwachs für jede folgende einem folgenden Reiz entsprechende Verkürzung ab, schliesslich nimmt der Muskel eine konstante, dem Tetanus entsprechende Form an, welche durch grössere Dicken- und geringere Längenausdehnung sich von der Form des einfach contrahirten Muskels unterscheidet.

Während des Tetanus ist der Muskel im Stande, eine gewisse Zeit hindurch ein Gewicht auf einer bestimmten Höhe zu halten oder einen länger andauernden Zug auf einen Hebelarm auszuüben, so dass dieser in einer bestimmten Stellung, so lange die tetanische Contraction besteht, verharren kann. Die tetanische Contraction charakterisirt sich als eine Reihe von Zuckungen. DU BOIS-REYMOND hat durch den unten zu besprechenden »secundären Tetanus« den Beweis für diese Annahme geliefert. Derselbe bemerkte zuerst, dass ein vom

Rückenmarke aus tetanisirtes Thier (Frosch) ein tiefes Geräusch hören lässt, dessen Ton (Schwingungszahl) hier unabhängig von dem Ton der Feder des electrischen Tetanisirapparates ist. Dieser Ton beruht auf dem »Muskelton oder Muskelgeräusch«, welches tetanisirte Muskeln hören lassen (WOLLASTON). HELMHOLTZ zeigte, dass die Schwingungszahl des Muskeltons (bei Tetanus durch Inductionsströme) gleich ist der Zahl der in der Secunde erfolgenden Reizungen. Der willkürlich tetanisirte Muskel zeigt einen konstanten Muskelton, den man am einfachsten Nachts bei verstopften Ohren bei der Contraction der eigenen Kaumuskeln hört, der Ton macht 19,5 Schwingungen in der Secunde. Darnach ist die Zahl der von den motorischen Centralorganen willkürlich zum Zweck des Tetanus ausgehenden Reizungen 19,5 in der Secunde (HELMHOLTZ). Nach HAUGHTON soll der erste Herzton gleichfalls ein gewöhnlicher Muskelton sein. Man kann die Schwingungen des Muskels, die dem Muskelton entsprechen, dadurch sichtbar machen, dass man sie auf eine mitschwingende Feder überträgt. KRONECKER und STIRLING haben die Unterschiede constatirt, welche RANVIER bei dem Tetanus rother und blasser Kaninchenmuskeln gefunden hat. Der rothe Muskel bedarf 10, der blasse 20—30 Reize in der Secunde, um in vollkommenen Tetanus zu fallen. Bei 22,000 Inductionswechselströmen in der Sekunde verfällt der Triceps femoris des Frosches noch in Tetanus, die obere Grenze der Reizfrequenz, jenseits welcher kein Tetanus mehr entsteht, liegt sonach noch höher.

Reizt man eine beschränkte Stelle eines Muskels (electrisch), so pflanzt sich von dieser Stelle aus die Erregung auf die ganze Länge des Muskels fort (KÜHNE) mit einer Geschwindigkeit von etwa 0,8—1,2 m in der Secunde nach AEBY und v. BEZOLD, nach BERNSTEIN 3 m. Auch diese Fortpflanzung der Erregung im Muskel sinkt, wie die Contractionsgeschwindigkeit, mit sinkender Temperatur. Die Contraction der gereizten Faser sieht man unter dem Mikroskop als Welle über den flüssigen Inhalt des Muskelschlauchs hinlaufen (KÜHNE).

Bei ausgeschnittenen Muskeln oder bei extremeren Graden der Ermüdung der Muskeln durch Ueberanstrengung oder durch Krankheit auch am lebenden Individuum (Menschen) bleibt dagegen nach einem lokal angebrachten Reiz die Contraction auf die direct gereizte Stelle beschränkt. Man kann durch Klopfen mit dem Finger, durch Schlag mit einem Skalpellstiel eine wulstige Hervorragung der Muskeln durch örtliche Verkürzung und Verdickung erzeugen: SCHIFF's idiomuskuläre Contraction. Auch bei lebensfrischen Muskeln sieht man beim Lebenden auf starke lokale Reizung neben der Allgemeincontraction noch eine Hervorwulstung der direct mechanisch gereizten Stelle eintreten. Hier haben wir es zunächst mit einem lokal sehr bedeutend gesteigerten Blutzufluss zu der gereizten Stelle zu thun, wie man bei mechanischer Reizung einer beschränkten Stelle der Herzoberfläche des Frosches, z. B. durch Berühren mit einer Pincette, direct anschaulich machen kann (J. RANKE).

Nach E. WEBER's Theorie können wir uns die mechanischen Veränderungen, welche der Muskel bei dem Uebergang aus dem ruhenden in den thätigen Zustand bei einfacher Zuckung erleidet, so vorstellen, dass dem gereizten Muskel durch den auf ihn ausgeübten Reiz, welcher eine innere chemische und mechanische Veränderung des Muskels plötzlich herbeiführt, durch Veränderung seiner elastischen Kräfte eine eigene natürliche Form zukommt, die sich von der natürlichen Form des ruhenden Muskels durch geringere Länge und grössere Dicke auszeichnet, gleichzeitig ist der gereizte Muskel weniger elastisch (S. 701). Bei dem Uebergang in den thätigen Zustand schnellt der unbelastete Muskel z. Thl. mit Verwendung elastischer Kräfte aus der Form der ruhenden in die neue Form des thätigen Muskels, nicht anders als ob er über die thätige Form hinaus bisher gedehnt gewesen wäre. Ist der ruhende Muskel durch ein Gewicht gedehnt, so zeigt er sich nach dem Uebergang in die thätige Form nach seinen neuen Elasticitätsverhältnissen entsprechend gedehnt, er verkürzt sich daher weniger als der unbelastet gereizte. Da sich der Tetanus aus summirten Einzelzuckungen zusammensetzt, so kann m. m. das für die Einzelzuckung Gesagte auch für ihn gelten.

II.

Die Chemie des Muskels als Bedingung seiner Lebenseigenschaften.

Der Muskel als Kraft-producirendes Organ.

Der Muskel ist das Kraft-producirende Organ für die mechanischen Leistungen des Organismus, seine Bestandtheile sind das »Heizmaterial« der animalen Arbeitsmaschine.

Im Gegensatz zu diesem Satze steht die Meinung, dass die Muskeln wie der Stempel, Hebel und Räder einer Dampfmaschine nur Uebertragungsmechanismen einer an einem anderen Orte erzeugten Kraft seien. Einer älteren Zeit lag die Meinung nahe, dass die Kraftquelle für die Muskelaktionen in den Centralorganen des Nervensystemes gelegen sei. Die Nerven sollten die dort erzeugte Kraft dem Muskel zuleiten, der sie mit Hülfe des Skelets zu zweckmässigen Bewegungen und Arbeiten verwendet. Die Meinung war widerlegt, als man fand, dass der Muskel auch noch zuckungsfähig bleibt, wenn er vom Rückenmark und Gehirn getrennt ist. Besser wissenschaftlich begründet schien die andere Behauptung, dass die Kraftquelle für die Muskelaktion im Blute zu suchen sei, dass der Muskel die durch den Stoffwechsel des Blutes erzeugte Kraft zu seinen Aktionen verwende. Im Blute hätten wir also gleichsam den Heizapparat der Dampfmaschine: die Muskelaktion, die in einer abwechselnden Verkürzung und Verlängerung beruht, würde sich mit den ebenfalls einfachen Bewegungen des Auf- und Niedergehens des Stempels vergleichen lassen, während das Knochengerüst den eigentlichen Arbeitsmechanismen der Maschine entspräche. Die Nerven hätten dann die Aufgabe, durch ihren Anstoss Ventile, welche die im Blute erzeugte Kraft (Wärme?) von dem ruhenden Muskel (dem Uebertragungsmechanismus) abhalten, zu öffnen, so dass diese Kraft nun zur mechanischen Muskelarbeit verwendet werden kann.

Die Annahme, dass der Muskel nur der Uebertragungsmechanismus der im Blute erzeugten Kraft sei, ist mit dem Nachweis entkräftet, dass die auf Stoffzersetzung beruhende Krafterzeugung im Blute eine verschwindend kleine Grösse ist (Pflüger), und dass ausgeschnittene und vollkommen blutfreie Muskeln noch zuckungsfähig sind. Doch lehren meine Beobachtungen, dass, wenn der Muskel auch blutfrei noch Arbeit zu leisten vermag, er dann, wenn ihm Blut zur Verfügung steht, auch Spannkräfte aus diesem zur Arbeitsleistung verwendet. Es zeigt sich, dass ein blutreicher Muskel weit mehr Arbeit leisten kann, als ein blutfreier. Dazu ergibt sich, dass das Blut während der Muskelaktion wesentliche Veränderungen erleidet. Das Blut (vom Frosche) verliert durch übermässige Muskelaktion (Tetanus des Gesammtthieres) seine stark alkalische Reaktion und wird neutral oder schwach sauer. Die procentische Menge der in ihm enthaltenen festen Stoffe nimmt dabei nicht unbeträchtlich zu, während der Wassergehalt entsprechend abnimmt. Von dem Gesichtspunkte, dass der Muskel vom Blute in normalen Verhältnissen Ernährungsmaterial und Sauerstoff bezieht, ist die Beobachtung, dass die Anwesenheit von Blut die Arbeitsfähigkeit des Muskels steigert, verständlich ohne

die Annahme, dass das Blut die freien Spannkräfte selbst zuführt, welche der Muskel zur Arbeit verwendet. Das Blut gibt Stoffe mit Spannkräften an den Muskel ab, die dieser verwendet.

Der chemische Bau des Muskels.

Muskeleiweissstoffe.

Die quergestreifte Muskelfaser umschliesst mit einem elastischen Schlauche, dem Sarkolemma, den activ contractilen Inhalt.

Man glaubte früher, dass das Sarkolemma aus elastischer Substanz bestehe. Dasselbe löst sich aber, wenn auch langsam, in Alkalien und Säuren, sowie im Magensafte, so dass es offenbar der leimgebenden Substanz näher steht. Eine chemische Scheidung der optisch sich verschieden verhaltenden Substanzen des contractilen Muskelfaserinhaltes ist noch nicht gelungen. Brücke fand, dass die doppelt-lichtbrechenden »Fleischprismen« unter Einwirkung von sehr verdünnten Säuren ihre optischen Eigenschaften verlieren, sie quellen dabei auf. Dasselbe erfolgt durch Alkalien und Kochen. Alkohol verändert sie nicht. — Der Inhalt der Muskelfaser, die contractile Substanz, ist eine Art von Flüssigkeit. Nach Kühne hat man bei der Muskelflüssigkeit wie beim Blute zwischen Plasma und Serum zu unterscheiden, welches letztere nach einer freiwilligen Gerinnung eines Eiweissstoffes aus dem Plasma zurückbleibt.

Das Muskelplasma wird am besten aus frischen gefrornen Froschmuskeln, aus denen man das Blut entfernt hat, gewonnen. Sie werden bei — 7° C. im kalten Mörser zerstossen und dann in einer Presse gepresst. Es fliesst eine Flüssigkeit ab, die durch eiskalte Filter filtrirt werden kann. Das Filtrat ist das Muskelplasma, schwach gelblich gefärbt, etwas opalescirend. Es reagirt deutlich alkalisch (zeigt aber auch schwache Wirkung auf Lakmuspapier: amphichromatisch). Beim Stehen in der Zimmerwärme gerinnt das Muskelplasma, es scheidet sich Myosin ab. Während der Gerinnung ändert sich Anfangs die alkalische Reaktion nicht. Das Myosin ist eine gallertige, durchsichtige Masse, Kälte verhindert die Myosingerinnung, Wasserverdünnung, verdünnte Säuren regen sie sogleich an. In Kochsalzlösung von 10° ist das Myosin löslich, man kann es damit aus jedem Fleische ausziehen. Verdünnte Säuren lösen das Myosin und verwandeln es in Syntonin. Die saure Lösung koagulirt nicht beim Kochen. Syntonin lässt sich aus allen Eiweisskörpern und Organen darstellen.

Das Muskelserum ist die Flüssigkeit, welche nach dem Ausscheiden des Myosins zurückbleibt. Bei 0° aufbewahrt, behält es seine ursprünglich alkalische oder neutrale Reaktion bei, ebenso, wenn es rasch auf 45° C. erwärmt wird. Bei gewöhnlicher Zimmertemperatur wird das Muskelserum bald sauer. Auf 45° C. erwärmt, scheidet sich ein zweiter Eiweisskörper aus, der nicht Myosin ist. Ausser diesen beiden Eiweissstoffen enthält der Muskelsaft noch einige weitere. Der eine davon ist Kalialbuminat (Casein), das sich auf minimalen Zusatz von Essigsäure oder Milchsäure ausscheidet. Die Ausscheidung erfolgt aus dem Muskelserum beim Stehen in gewöhnlicher Temperatur von selbst, indem sich Fleischmilchsäure bildet, welche das Kalialbuminat fällt. Der zuerst entstehende Antheil von Milchsäure verbindet sich mit einem Theile der Basen des Muskelsaftes zu milchsauren Salzen. Dadurch werden alle im Muskel enthaltenen Salze in saure Salze übergeführt, vor Allem wird aus dem im Muskelsafte sehr reichlich vorhandenen phosphorsauren Kali, indem sich ein Atom Kali mit Milchsäure vereinigt, milchsaures Kali und saures phosphorsaures Kali gebildet. Die Milchsäure betheiligt sich anfänglich nicht direct an der sauren Reaktion des Muskelsaftes. Die saure Reaktion im Muskel rührt im Anfang ihres Auftretens vor Allem von dem sauren phosphorsauren Kali her. Das Kalialbuminat ist in saurem phosphorsaurem Kali löslich, bei 35° C. fällt es heraus. Erst wenn so viel Milchsäure entstanden

ist, dass ein Ueberschuss davon frei im Muskelsafte sich vorfindet, fällt bei niederen Temperaturen das Kalialbuminat nieder. Es kann daher schon saure Reaktion im Muskelsafte sein, ehe eine Eiweissfällung entsteht. Neben den genannten Albuminaten enthält der Muskelsaft noch eine nicht unbeträchtliche Menge von Serumeiweiss, welche durch Erhitzen auf 70—75° C. koagulirt werden kann.

Kühne hat den Nachweis geführt, dass die genannten Eiweisskörper im Muskelsafte gelöst enthalten sind, der Muskelsaft scheint, wie oben gesagt, eine wahre Flüssigkeit, in welcher als feste Körperchen die Fleischprismen in regelmässiger Anordnung schweben. Welche Kräfte die Fleischprismen in ihrer Lage erhalten, ist noch nicht erforscht. Kühne sah einen wurmförmigen Parasiten (Myoryktes Weismanni) in einer lebenden Muskelfaser sich durch die Fleischprismen, diese verdrängend, hin bewegen, was nur in einer wahren Flüssigkeit möglich ist. Die verdrängten Fleischprismen kehrten hinter dem Parasiten wieder in ihre regelmässige Stellung zurück. Die Lösung des Muskelplasmas ist nicht sehr concentrirt; der Gesammtmuskel der Säugethiere enthält etwa 25% feste Stoffe, die in 75% Wasser gelöst sind.

Ausser den genannten Eiweisskörpern findet sich im Plasma der gefärbten Muskeln (cf. oben S. 39, 396) ein rother Farbstoff, der sich nach den neuesten Beobachtungen Kühne's als mit dem Haemoglobin chemisch und physikalisch identisch erweist.

Piotrowsky und J. Munk haben aus blutfreien Muskeln ein zuckerbildendes Ferment gewonnen (cf. unten bei Glycogen S. 708). Blutfreie Muskeln enthalten nach Brücke auch ein Eiweiss verdauendes Ferment: Pepsin. Mit diesem Gehalt an Pepsin steht vielleicht auch das Vorkommen eines peptonartigen Eiweisskörpers im Zusammenhang, welches Kühne als einen konstanten Muskelbestandtheil angibt. Es ist nach diesen Funden nicht unwahrscheinlich, dass die festen Muskel-Eiweissstoffe, um sich an dem allgemeinen Stoffaustausche mit betheiligen zu können, sich zuerst in Pepton verwandeln.

Fleischextrakt.

Die Untersuchungen Liebig's u. A. haben im Fleischsafte eine Reihe von sogenannten Extraktivstoffen kennen gelehrt, die wir vor Allem als Zersetzungsprodukte aus den Eiweisskörpern entstanden ansehen müssen. Man pflegt sie in stickstoffhaltige und stickstofffreie Körper einztheilen.

Unter den **stickstoffhaltigen Bestandtheilen** sind Kreatin und Kreatinin zunächst zu nennen. In dem alkalisch reagirenden Muskelsafte soll das Kreatinin nicht enthalten sein, dagegen findet es sich in stark sauren Muskeln. Es findet sich, wie ich bestätigen kann, im frischen Herzfleisch. Der Gehalt des Fleisches an Kreatin beträgt zwischen 0,2—0,4% (Neubauer, Nawrocki), im Herzfleisch fand ich den Gehalt von Kreatin im Gegensatz zu den früheren Angaben entschieden geringer, als in der Stammmuskulatur desselben Thieres. Dafür findet sich, wie gesagt, dort ein Gehalt an Kreatinin, der aber den Ausfall nicht vollkommen deckt.

Nach Strecker ist das von Scherer zuerst in der Milz und im Herzfleisch gefundene Hypoxanthin (= Sarkin) ein konstanter Muskelbestandtheil. Mit diesem Körper nahe verwandt ist das auch im Fleischsafte gefundene Xanthin. Die Gesammtmenge von Hypoxanthin und Xanthin im Fleische beträgt im Hundefleische etwa 0,25, im Ochsenfleische 0,15 pro Mille.

Limpricht und Jacobsen fanden im Fleische junger Pferde und im Fischfleische Taurin, das man früher nur als Bestandtheil der Muskeln von Mollusken kannte.

Harnsäure scheint hier und da im Muskel vorzukommen.

Harnstoff wurde neuerdings im Muskel von Picard sicher nachgewiesen (S. 576). Liebig fand im Fleische eine stickstoffhaltige Säure: Inosinsäure.

Unter Hlasiwetz' Leitung hat J. Weidel einen neuen stickstoffhaltigen, konstanten Be-

standtheil des Fleischextraktes: Carnin nachgewiesen (S. 175), von der Formel: $C_7H_8N_4O_3$; es steht in Beziehung zum Theobromin: $C_7H_8N_4O_2$, ist also Oxytheobromin. Die Formel des Caffeins ist ebenfalls sehr ähnlich: $C_8H_{10}N_4O_3$.

Unter den **stickstofffreien Bestandtheilen** des Fleischsaftes steht an Wichtigkeit die in Beziehung auf die Säuerung des Muskelsaftes schon besprochene Fleischmilchsäure oder Paramilchsäure oben an. Die Fleischmilchsäure entsteht wahrscheinlich beständig in geringer Menge im lebenden Muskel und vereinigt sich mit dessen Basen zu milchsauren Salzen, die von da aus in das Blut übergehen, in welchem die milchsauren Salze als konstanter Bestandtheil auftreten. Bei der Säuerung des Muskels im Tode und bei Bewegung tritt zweifelsohne eine gesteigerte Bildung von Milchsäure ein. Nach den Beobachtungen du Bois-Reymond's wird die Milchsäurebildung im Muskel durch die Agentien aufgehoben, durch welche wir auch die Gährungserscheinungen unterdrückt sehen, durch plötzliches Erhitzen auf 100° C. und plötzliche Alkoholeinwirkung. Man darf daraus vielleicht folgern, dass die Säure durch eine Art von Gährung aus irgend einem im Muskel sich findenden Kohlehydrat entsteht, ähnlich wie bei der freiwilligen Säuerung der Milch. Für die Gesammtmenge der freien Säure existirt nach meinen Beobachtungen in jedem Muskel ein Maximum, das bei jeder Art des Absterbens erreicht wird. Dieses Säuremaximum ist bei verschiedenen Thieren verschieden, grösser in den leistungsfähigeren Muskeln. Auf die Sättigungskapacität der Schwefelsäure für Natron bezogen, fand ich das Säuremaximum im

Katzenmuskel	0,272%
Kaninchenmuskel . . .	0,225 -
Schweinemuskel . . .	0,192 -
Froschmuskel	0,141 -

Hat das Thier (Frosch) vor seinem Tode sehr starke Muskelanstrengung gemacht, so findet sich das Säuremaximum im Muskel geringer, weil ein Theil der Säure liefernden Stoffe schon zersetzt und die aus ihnen gebildete Milchsäure in das Blut übergegangen ist.

Scherer gewann aus dem Fleischextrakte Essigsäure, Ameisensäure und Buttersäure.

Blutfreie Muskeln der Thiere enthalten nach Meissner's von mir bestätigter Angabe einen wahren gährungsfähigen Zucker, Fleischzucker, der sich vom Traubenzucker nicht zu unterscheiden scheint. Er entsteht zweifellos im Muskel selbst. Meissner fand ihn in dem Fleische von Thieren, denen er längere Zeit vollkommen zuckerfreie Kost gereicht hatte. Dass er dem Muskel nicht durch das Blut aus dem hauptsächlich zuckerbildenden Organ des Körpers, aus der Leber zugeführt wird, konnte ich an künstlich entleberten Fröschen zeigen, in deren Muskeln ich durch Muskelbewegung, Tetanus, den Zuckergehalt noch immer, wie bei normalen Thieren, steigern konnte. Diese Zuckerbildung im Tetanus tritt auch bei ausgeschnittenen, dem Blutkreislaufe ganz entzogenen Muskeln ein.

Scherer entdeckte im Fleische eine nicht gährungsfähige Zuckerart (zuerst im Herzfleische), den Inosit.

Bernard und Kühne fanden in den Muskeln von Embryonen Glycogen, das vollkommen dem Leberglycogen entspricht. M'Donnel fand es in Muskeln neugeborener Thiere. Nach Brücke, O. Nasse und Weiss kommt es stets im Fleische vor. Wahrscheinlich stammt das von Limpricht und Scherer aus dem Fleische junger Thiere, namentlich Pferde, gewonnene Dextrin und der Fleischzucker aus Glycogen. Der Glycogengehalt der Muskeln beträgt nach O. Nasse 0,35—0,9% und wird in analoger Weise nur weniger rasch von den Ernährungsverhältnissen beeinflusst wie das Leberglycogen. Muskelthätigkeit setzt seine Menge herab (Weiss), während dafür die Zuckermenge im Muskel steigt (J. Ranke, cf. oben). Auch Unterbindung der Muskelgefässe (bei Kaninchen) setzt die Glycogenmenge herab, während sich die letztere vermehrt zeigt in Muskeln, deren Nerven durchschnitten wurden (Th. Chandelon). J. Munk fand, dass sich das »diastatische Ferment des Muskels« (cf. oben) vom Ptyalin dadurch unterscheide, dass die geringste Menge Säure oder Alkali seine Wirkung beeinträchtigt. O. Nasse findet, dass der Uebergang des Glycogens in Zucker im

Muskel primär durch CO_2 gesteigert wird. Es erklärt diese Thatsache vielleicht wenigstens theilweise die Zunahme des Zuckers im tetanisirten Muskel, welcher mehr CO_2 bildet, als der geruhte (cf. unten).

Die Milchsäure des Fleischsaftes kann wohl aus jedem der vier oben genannten Kohlehydrate des Fleisches durch Gährung entstehen, doch zeigte LIMPRICHT, dass bei der Gährung seines Fleischdextrins gewöhnliche Milchsäure entstand.

Der feste Rückstand der Fleischbrühe besteht nach KELLER's Angaben aus 82.2% anorganischer Salze (S. 172).

Ausser den bisher genannten Stoffen enthält jeder Muskel noch eine geringe Menge unverseiften Fettes, dessen Natur noch nicht vollkommen aufgehellt ist. Der Fettgehalt der Muskeln zeigt quantitativ bedeutende Schwankungen. Im normalen Herzen beträgt der Fettgehalt der trockenen Muskelsubstanz zwischen 7—13%, bei der sogenannten fettigen Degeneration des Herzmuskels ist eine Vermehrung oft nicht nachzuweisen; der Fettgehalt kann aber dabei steigen von 10—11,4—16,7% (BÖTTCHER).

Ausser diesen Stoffen enthält der Muskel noch Gase und zwar dieselben, wie wir sie in allen Geweben und Gewebsflüssigkeiten antreffen. Am leichtesten lässt sich der Kohlensäuregehalt des Muskelsaftes anschaulich machen, der je nach dem physiologischen Zustande des Muskels (Ruhe oder Bewegung) Verschiedenheiten in seinen Mengenverhältnissen zeigt. Der Muskelsaft enthält auch Stickstoff und Sauerstoff, letzteren in sehr geringer Menge. Das Haemoglobin des Muskels, der Muskelfarbstoff, bindet Sauerstoff und gibt ihn ab, ebenso wie das Haemoglobin des Blutes (KÜHNE).

Die **glatten Muskeln** zeigen im Allgemeinen ein analoges Verhalten wie die quergestreiften. DU BOIS-REYMOND fand ihre Reaktion stets neutral oder alkalisch. SIEGMUND will den kontrahirten Uterus sauer gefunden haben.

Chemische Vorgänge im ruhenden Muskel.

Muskelrespiration.

Die chemische Muskelzusammensetzung ist wie die aller Zellen und Zellensekrete beständigen Schwankungen unterworfen. Schon während des ruhenden Zustandes finden fortwährend auf innere Oxydationen deutende Stoffveränderungen statt. Man fasst die in dieser Richtung bekannt gewordenen Thatsachen, die sich auf den Gaswechsel des Muskels beziehen, unter dem Namen der Muskelrespiration zusammen. Eine Anzahl der hierher gehörenden Verhältnisse hat schon bei der »inneren Athmung« (S. 531) und in der »Physiologie der Zelle« (S. 93 f. und 120 f.) Erwähnung gefunden.

Die Muskelrespiration besteht im Allgemeinen aus einer Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe des ruhenden Muskels. Diese Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe des lebenden Muskels zeigt sich darin, dass das hellrothe Arterienblut aus den ruhenden Muskeln dunkel gefärbt, venös zurückkommt, wie aus den übrigen Organen. Die Veränderung besteht in einer Verminderung des Sauerstoff- und Vermehrung des Kohlensäuregehaltes des Blutes, sie tritt auch ein, wenn man einen frisch ausgeschnittenen Säugethiermuskel künstlich mit Blut durchströmt (LUDWIG u. A.). Schon AL. v. HUMBOLDT hatte gezeigt, dass ausgeschnittene Froschmuskeln im Sauerstoff länger ihre Lebenseigenschaften behalten, als in anderen sonst nicht giftigen Gasen, zum Beweise, dass ein fortgehender Wechselverkehr des Muskels mit der Oxydationsquelle zur Erhaltung seines Lebens unumgänglich nöthig ist. E. DU BOIS-REYMOND und

G. von Liebig jun. haben gefunden, dass die Muskeln dabei Kohlensäure abscheiden. Auch in anderen Gasen als im Sauerstoff geben die Muskeln eine Zeit lang Kohlensäure ab, auch nachdem das sauerstoffhaltige Blut aus ihren Gefässen ausgespritzt ist. Ich habe mit Daxenberger die physiologische Dignität dieser Muskelrespiration wieder festgestellt, als sie durch L. Hermann's (bei Sommertemperatur, cf. unten, angestellte) Versuche zweifelhaft zu werden schien.

Ausser der Respiration findet sich im ruhenden Muskel: eine stetige Milchsäureproduktion. Der Muskelsaft reagirt bei gesunden ruhenden Muskeln schwach alkalisch oder neutral (E. du Bois-Reymond). Lässt man die ausgeschnittenen Muskeln einige Zeit liegen, so geht die neutrale Reaktion der Muskeln in eine saure über, die schliesslich so stark werden kann, dass blaues Lakmuspapier vom Muskelsafte lebhaft geröthet wird. Offenbar findet sich diese Säurebildung auch im unversehrten Organismus, doch wird sie dort larvirt durch die Wirkung der alkalischen Säfte: Blut und Lymphe, welche den Muskel umspülen und die gebildete Säure neutralisiren. Im ausgeschnittenen Muskel sind diese alkalischen Säfte nur in begrenzter Menge vorhanden. Sind sie neutralisirt, so tritt die Reaktion in Erscheinung.

So finden wir denn schon im ruhenden Muskel Kraftquellen: 1) Sauerstoffabsorption und Kohlensäureproduction, beruhend auf organischen Oxydationen, 2) Spaltungen (die Entstehung der Milchsäure), 3) Neutralisationsvorgänge, wodurch lebendige Kräfte frei werden müssen.

Wir finden im ruhenden Muskel Kräftewirkungen, die auf jene Quelle als auf ihre Ursache zurückzuführen sind. Es sind dies die gesetzmässig gerichteten electrischen Ströme, die uns E. du Bois-Reymond kennen gelehrt hat: die electrischen Muskelströme. Ob auch Wärme bei der Oxydation im ruhenden Muskel gebildet wird, ist noch nicht sicher erwiesen, so wahrscheinlich es auch ist, da nach den mechanischen Gesetzen die frei werdenden Kräfte nicht alle in eine andere Kräfteform übergeführt werden können.

Bei ausgeschnittenen Muskeln mischen sich mit dem noch fortgehenden physiologischen Stoffumsatz auch jene oben S. 177 erwähnten freiwilligen chemischen Veränderungen des Fleisches, die schliesslich zur Fäulniss führen. Bei den physiologischen Beobachtungen müssen diese letzteren Einflüsse durch niedere Temperatur beschränkt resp. beseitigt werden (J. Ranke). Bei höheren Temperaturen wirkt die unter der Sauerstoffeinwirkung stattfindende beginnende Fäulniss so bedeutend, dass sehr dünne Froschmuskeln, die wie der Musc. sartorius des Frosches eine sehr grosse Oberfläche besitzen, in Sauerstoff sogar kürzer ihre Lebenseigenschaften behalten als in indifferenten Gasen, z. B. Wasserstoff (L. Hermann, J. Ranke), dasselbe fand ich für ausgeschnittene Froschnerven. Für alle dickeren Muskeln bleibt dagegen die Beobachtung Humboldt's bestehen. Unsere Versuche ergaben weiter: der Vorgang der physiologischen Sauerstoffaufnahme steigt nicht, sondern fällt bei dem Muskel mit der Zunahme der Temperatur, bis er bei einer Temperatur, bei welcher der Muskel abstirbt, fast oder vollkommen der experimentellen Wahrnehmung verschwindet. Die Fäulnissaufnahme des Sauerstoffs steigt dagegen mit der steigenden Temperatur. Die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe des ausgeschnittenen Muskels ist also eine ziemlich verwickelte Function der Temperatur.

Chemische Vorgänge im thätigen Muskel.

Die Krafterzeugung während der Thätigkeit des Muskels beruht, wie alle Krafterzeugung im Organismus überhaupt, im letzten Grunde auf einer Steigerung der uns bekannten chemischen Kraft-liefernden Vorgänge zunächst im Muskel selbst (S. 113, 115). In zweiter Linie wirken auch gewisse physikalische Muskelveränderungen mit, welche sich aber ebenfalls auf chemische Ursachen zurückführen lassen. Auch von Seiten des Blutes, das dem Muskel zuströmt, findet, wie wir sahen, eine Betheiligung statt.

Matteucci und Valentin fanden zuerst, was in der Folge vielfach constatirt wurde, dass der (isolirte) thätige Muskel mehr Kohlensäure aushaucht, als der ruhende, man fand Hand in Hand mit dieser gesteigerten Kohlensäureabgabe eine vermehrte Sauerstoffaufnahme aus der Atmosphäre. Als in neuester Zeit diese letztere Angabe bestritten wurde, bewies Ludwig mit Sczelkow und A. Schmidt, dass der (isolirte) thätige Säugethiermuskel, den sie künstlich mit Blut durchströmen liessen, dem Blute mehr Sauerstoff entziehe, als der ruhende, Sczelkow constatirte mit Danilewsky das gleiche Verhältniss auch für den ausgeschnittenen Froschmuskel, so dass nun die grössere Sauerstoffaufnahme des Muskels bei seiner Aktion gleichzeitig mit seiner durch Untersuchung des Muskelblutes nachgewiesenen gesteigerten Kohlensäureabgabe feststeht. Alle lebenden Gewebe entziehen dem Oxyhämoglobin des Blutes Sauerstoff. Tetanisirte Froschmuskeln thun das aber in viel höherem Grade als geruhte (Preyer und Schmidt), wie überhaupt ihr Reductionsvermögen nach Grützner's mehrfach bestätigten Angaben ein höheres ist. E. du Bois-Reymond fand, dass der Muskel bei der Thätigkeit seine neutrale oder schwach alkalische Reaktion in eine saure umwandelt, was auf dem Auftreten von Fleischmilchsäure im Muskelsafte beruht.

Der Muskel verbraucht zum Zwecke seiner Thätigkeit von seinen eigenen Bestandtheilen.

Es werden durch die Thätigkeit des Muskels folgende Muskelstoffe vermindert: die Gesammteiweissstoffe (J. Ranke, Nawrocki, Danilewsky), das Gesammtwasserextrakt (Helmholtz, J. Ranke, Niegetiet und Hepner), die Milchsäure bildenden Stoffe (J. Ranke), die Kohlensäure bildenden Stoffe (J. Ranke) (der ausgeschnittene Muskel bildet nach der Muskelaktion weniger Milchsäure und Kohlensäure als nach längerer Ruhe), das Glycogen (Weiss), die flüchtigen Fettsäuren (Sczelkow), Kreatin und Kreatinin (Voit).

Dieser Stoffverbrauch spricht sich, wie aus dem Gesagten hervorgeht, z. Thl. zunächst darin aus, dass gewisse Stoffe, die als Stoffwechselprodukte der Muskelsubstanz erscheinen, im thätigen Muskel sich vermehrt finden. So entspricht nachgewiesenermassen dem Verbrauch der Milchsäure bildenden Stoffe im Muskel eine Mehrbildung von Milchsäure bei der Muskelaktion. Das Gleiche habe ich auch von den Kohlensäure bildenden Stoffen im Verhältniss zur Kohlensäureaushauchung des Muskels gefunden. So deutet also auch die nachgewiesene Vermehrung des Alkoholextraktes des Muskels durch die Thätigkeit (Helmholtz, J. Ranke, Niegetiet und Hepner), die Vermehrung des Aetherextraktes (J. Ranke), des Meissner'schen Muskelzuckers (J. Ranke) auf eine

Verminderung der betreffenden Muttersubstanzen, bei letzterem Stoff auf eine Verminderung des Glycogens. Danilewsky fand im Alkoholextrakt des thätigen Muskels mehr Stickstoff als in dem der ruhenden, was er auf einen Eiweissverbrauch unter Bildung stickstoffhaltiger Zersetzungsprodukte bezieht; auch der Phosphorgehalt des Extraktes schien ihm vermehrt, der Schwefelgehalt vermindert.

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, dass sich nach den bisherigen Resultaten der Untersuchung an dem gesteigerten Stoffumsatz des thätigen Muskels alle Stoffgruppen betheiligen, welche überhaupt im Muskel vorkommen (J. Ranke):

1) Albuminate (vielleicht z. Thl. als Fett bildende Stoffe),

2) krystallisirbare, stickstoffhaltige Zersetzungsprodukte der Albuminate: Kreatin und Kreatinin,

3) Milchsäure bildende und Zucker bildende Stoffe, von diesen nachgewiesenermassen das Glycogen,

4) flüchtige Fettsäuren oder flüchtige Fettsäuren bildende Stoffe, vielleicht zum Theil Fette.

An der Kraftproduktion des thätigen Muskels betheiligt sich auch direct das Blut, so lange die Blutcirculation im Muskel erhalten ist. Der bluthaltige Muskel ist im Stande, eine grössere Gesammtarbeit zu leisten als der blutfreie (J. Ranke). Ueberdies strömt zu dem thätigen Muskel im lebenden Organismus wie zu allen thätigen Organen eine grössere Blutmenge (cf. Blutvertheilung), so dass dem Muskel in Folge des Thätigkeitswechsels der Organe (J. Ranke) während seiner Thätigkeit gesteigertes Material zum Stoffwechsel zu Gebote steht.

Die Betheiligung physikalischer, lebendige Kraft producirender Momente an der Muskelaktion ist eine mehr indirecte. Die chemischen Umsetzungen, welche die Kraft der Muskeln liefern, werden zum Theil nicht erst in dem Augenblicke gemacht, in welchem die Muskelcontraction erfolgt, es findet eine Ansammlung von Kraftvorrath statt. An der allgemeinen Kraftproduktion des arbeitenden Muskels betheiligen sich Spannkräfte, welche durch physikalische Veränderungen der Organstructur der Muskelfaser frei und verwendbar werden. Das normale physikalische Verhalten des ruhenden Muskels wie seine Elasticität und Dehnbarkeit, seine Imbibitionsfähigkeit, sind als Folgen seines normalen Stoffumsatzes im ruhenden Zustande aufzufassen.

In der Kohäsion der Moleküle des ruhenden Muskels ist eine Kraftsumme aufgespeichert, welche durch (plötzliche) Veränderung in Folge äusserer Einwirkung (Säuerung in Folge der Nervenaktion) ausgelöst werden und zur Verwendung kommen kann. Die stärkere Dehnbarkeit des contrahirten Muskels, die ebenfalls nachgewiesene höhere Imbibitionsfähigkeit (J. Ranke), beweist uns, dass bei der Muskelaktion wirklich Veränderungen in der Kohäsion eingetreten sind. Die Imbibition selbst liefert Kräfte, welche zur Muskelaktion mit Verwendung finden können.

Unter die physikalischen Aenderungen des Muskels, welche zur Kraftproduktion mit Verwendung finden können, rechnet C. Voit auch die negative Schwankung der Muskel-

electricität. Er fasst diese dabei im Gegensatze zu E. du Bois-Reymond's Theorie als eine Abnahme der Kraft der »electromotorischen Moleküle« auf.

Früher glaubte man aus den allgemeinen Stoffwechselversuchen Schlüsse auf die Veränderungen des Muskelstoffwechsels bei der Muskelaktion machen zu dürfen. Die Feststellung des Thätigkeitswechsels der Organe (J. Ranke) machte diese Versuche illusorisch und zeigte, dass die bei Muskelaktion etwa zur Beobachtung kommenden Veränderungen des Stoffwechsels nur in secundären Veränderungen der Hauptstoffwechselbedingungen ihren Grund haben. An Arbeit nicht gewohnte oder arbeitgewohnte animale Organismen bei übermässigen Leistungen zeigen mit der Muskelaktion eine Steigerung der Athmung und Herzthätigkeit, welche mit einer Steigerung des Gesammtstoffwechsels einhergeht, die aber selbstverständlich mit der geleisteten Arbeit in keinem directen Verhältnisse stehen muss. Ist die Ausgleichung der Blutvertheilung bei dem »Thätigkeitswechsel der Organe« eine möglichst vollkommene, wie es bei der gewohnten täglichen Beschäftigung der Fall ist, so wird der Gesammtstoffwechsel durch die Arbeit nicht wesentlich gesteigert; tritt dann ein Ruhetag ein, so kann die Arbeit der Verdauungsdrüsen fast vollkommen für die der Muskeln eintreten, so dass zwischen Arbeits- und Ruhetag kaum ein merkbarer Unterschied in dem Stoffwechsel auftreten muss. Daher sind die Versuchsergebnisse wechselnd. C. Voit hat ein annäherndes Gleichbleiben des Gesammtstickstoffumsatzes bei Ruhe und Thätigkeit der Muskeln für einen Hund und einen Arbeiter für einen grösseren Zeitraum gefunden. F. Schenk fand bei zwei an sich selbst angestellten Versuchsreihen in der ersten eine nicht unbeträchtliche Steigerung der Harnstoffausscheidung in Folge der Arbeit und zwar im Mittel von 46,2 auf 52,5, in der zweiten Reihe dagegen keine bemerkbare Veränderung des Stickstoffumsatzes. F. W. Pavy beobachtete an einem Wettläufer während der Marschtage eine bedeutende Mehrausscheidung von Harnstoff im Verhältniss zu den Ruhetagen, jedoch ohne genaue Controle der Nahrungsverhältnisse: Stickstoffausgabe in der Ruhe 19,79, bei Arbeit 34,21. Die Mehrzersetzung stickstoffhaltiger Stoffe bei Arbeit kann aber auch hier bei weitem nicht die gesammte mehr geleistete mechanische Arbeit erklären. Die gesammte dadurch mehr frei gewordene Spannkraft entspricht nach Pavy noch nicht der Hälfte der geleisteten Arbeit. Austin Flint folgte einem anderen Ideengang. Er bestimmte das Verhältniss des täglich eingenommenen Stickstoffs zu dem in den Excreten (Harn und Koth) ausgeschiedenen. In fünf Ruhetagen fand er dieses Verhältniss bei dem Schnellläufer Weston vor dem Lauf im Mittel 100 : 86,58; in fünf Ruhetagen nach dem Lauf 100 : 77,03, im Mittel der fünf Arbeitstage aber 100 : 143,98. Es trat hier sonach eine Vermehrung des Stickstoff-Ausscheidungsverhältnisses um etwa das Doppelte ein. Flint schreibt nach diesem Ergebniss der Zersetzung der Körpereiweissstoffe für die Krafterzeugung im Muskel eine hohe Bedeutung zu, dagegen fand H. Brietzke an arbeitenden Gefangenen keine Harnstoffvermehrung. Ich u. A. haben gezeigt, dass man eine geringfügige Steigerung in der Stickstoffausscheidung im Harne in Folge von Arbeitsleistung beobachten kann, wenn man nur kleine Zeiträume (Stunden) mit einander vergleicht, die Steigerung tritt meist erst nach der Arbeitsleistung hervor. Die beobachtete Steigerung im allgemeinen Umsatz bei Muskelthätigkeit leitet C. Voit von indirecten Ursachen her: Steigerung der Respiration und Herzthätigkeit. Es kommt hierzu noch ein weiteres Moment. Während der starken krampfhaften Muskelthätigkeit ist wie die Thätigkeit der Leber (Galleproduktion), so auch die Thätigkeit der Niere vermindert (J. Ranke). Nach der Muskelthätigkeit tritt dagegen bei der Niere eine sehr bedeutende Steigerung der Harnproduktion ein (J. Ranke). Cf. oben S. 231 und bei Athmung S. 537.

Der Nerv erscheint als ein vierter Hauptfaktor des Stoffwechsels, er regelt den Blutzufluss, den Zufluss von zersetzbarem Material und Sauerstoff zu den arbeitenden Organen, Muskeln, Nerven, Drüsen.

Man hat sich gestritten, ob Eiweissstoffe oder Kohlehydrate und Fette zum Zweck der Muskelaktion zersetzt werden. Nach den jetzigen Versuchsresultaten ist der Streit ein müssiger, es verbraucht der Muskel von allen seinen Stoffgruppen zum Zwecke seiner Aktion.

Die oben erwähnte gesteigerte Imbibitionsfähigkeit des thätigen Muskels macht den im normalen Gesammtorganismus **thätigen Muskel wasserreicher** als den geruhten. Muskeln, denen im normalen Verlauf des Lebens mehr mechanische Leistungen zugemuthet werden: Herz, Beinmuskeln etc., sind wasserreicher als die weniger zur Arbeit verwendeten: Rückenmuskeln (J. Ranke, Danilewsky).

Analog wie gesteigerte Thätigkeit des Muskels wirkt in chemischer Beziehung die stärkere **Muskelspannung** (Heidenhain). Dagegen fand Sczelkow mit Danilewsky, dass ein ausgeschnittener Froschmuskel passiv stark bewegt mehr Sauerstoff aufnehme als ein activ sich contrahirender. Umgekehrt fanden sie die Kohlensäureausscheidung bei dem aktiv sich bewegenden Muskel weit grösser als bei dem passiv bewegten.

Ermüdung.

Die sichere Bestätigung, dass es sich um **Stoffwechsel**, d. h. Stoffzersetzungen und organische Oxydationen bei der Krafterzeugung im Muskel und zwar um Zersetzungen und Oxydationen im Muskel selbst handle, ergeben die Untersuchungen und Entdeckungen über Ermüdung (S. 120).

Die Ermüdung erfolgt nachgewiesenermassen vor Allem aus zweierlei Gründen:

1) durch Anhäufung von Muskelzersetzungsprodukten, d. h. von **ermüdenden Stoffen** im Muskel selbst (J. Ranke), und

2) durch **Verbrauch des im Muskel abgelagerten**, zur Oxydation verwendbar vorhandenen **Sauerstoffs** (Pettenkofer und Voit).

Der Muskel ist, wie aus dem bisher Gesagten hervorgeht, nach der Arbeitsleistung ein wesentlich anderer als vor derselben, während der Ruhe. In physikalischen und chemischen Eigenschaften sehen wir ihn verändert, es ist klar, dass diese Umgestaltung nicht ohne Einfluss sein kann auf seine Lebenseigenschaften. Diese Veränderung aus den angeführten Ursachen trägt den Namen **Ermüdung**. Alle physiologischen Veränderungen, die man an dem Muskel nach dem Tetanus wahrnimmt, werden unter diesem Ausdrucke zusammengefasst.

Am deutlichsten spricht sich bei der Ermüdung die Herabsetzung der normalen Erregbarkeit des Muskels aus. Dieselbe Reizstärke löst nach einem vorausgegangenen ermüdenden Tetanus weniger Kräfte im Muskel aus, als vor demselben: die Hubhöhe des ermüdeten Muskels ist eine geringere für das gleiche Gewicht, die Muskelcurve am Myographion ist flacher, weniger steil ansteigend, es kann der Zustand der Ermüdung sich so weit steigern, dass kein Gewicht mehr gehoben werden kann. Die Ermüdung ist im gesunden, lebendenden Organismus ein vorübergehender Vorgang, lässt man den ermüdenden Muskel einige Zeit lang ruhen, so stellen sich dadurch seine für den geruhten Zustand normale Erregbarkeit, seine normalen Eigenschaften wieder her.

Auch bei dem ausgeschnittenen Muskel zeigt sich diese ebengenannte Erscheinung der Erholung nach Ermüdung.

Wir haben uns diese Wechselwirkung von Ruhe und Thätigkeit in der Weise vorzustellen, dass im thätigen Muskel Erregbarkeit-vernichtende, im ruhenden Erregbarkeit-erhaltende oder wiederherstellende Kräfte alternirend thätig sind. Wenn wir eine Muskelthätigkeit lange ohne Ermüdung erträglich finden, so heisst das: den vernichtenden Momenten halten die die Er-

regbarkeit erhaltenden Momente gerade das Gleichgewicht, oder die letzteren überwiegen in ihrer Wirkung.

Unter den ermüdenden, die Erregbarkeit des Muskels herabsetzenden resp. vernichtenden Momenten sind vor Allem die im Tetanus im Muskel sich anhäufenden Säuren, Kohlensäure, Milchsäure und saures phosphorsaures Kali, andere im Muskel entstehende Säuren und saure Salze zu nennen.

Imprägnirt man künstlich einen gut erregbaren Muskel mit diesen Stoffen im Einzelnen oder direct mit allen Muskelzersetzungsprodukten (Fleischbrühe), so verfällt er momentan in den Zustand extremer Ermüdung, seine Erregbarkeit wird augenblicklich auf ein Minimum herabgesetzt oder ganz vernichtet. Dasselbe findet bei einer normalen Anhäufung dieser Stoffe im Muskel, wie sie im Tetanus erfolgt, in gleicher Weise statt (J. Ranke).

Die Oxydationsprocesse im Muskel erfahren bei Gegenwart der ermüdenden Stoffe eine wesentliche Aenderung. Bei der Milchsäure scheint es, dass sie nach ihrer grossen Verwandtschaft zum O den übrigen Muskelstoffen den zu ihrer Zersetzung nothwendigen Sauerstoff entzieht. Mit der Vernichtung der Leistungsfähigkeit des Muskels wird durch die in den Muskel künstlich eingeführten ermüdenden Stoffe auch die electromotorische Kraft auf ein Minimum herabgesetzt. Natürlich ermüdete Muskeln zeigen wie jene, die man künstlich mit den genannten Stoffen beladen hat, eine bedeutende Verminderung ihrer nach aussen wahrnehmbaren electromotorischen Kraft.

Die Veränderungen, welche die ermüdenden Stoffe im Muskel hervorbringen, können wenigstens anfänglich keine wesentlichen sein. Dafür spricht, dass durch die wiederherstellenden Bedingungen ihre Wirkungen wieder aufgehoben werden können, und vor Allem, dass ein Neutralisiren und Auswaschen der ermüdenden Stoffe aus dem natürlich oder künstlich ermüdeten Muskel mit Blut oder mit 0,7% Kochsalzlösung, die man mit kohlensaurem Natron oder Kreatinin schwach alkalisch gemacht hat, von den Blutgefässen aus genügt, um ihm seine verlorene Erregbarkeit wieder zu ertheilen (J. Ranke, von Roeber bestätigt). Gerade so wirken das alkalische Blut, die alkalische Lymphe im normalen Organismus.

Wenn die ermüdenden Stoffe ihre Wirksamkeit theilweise dem Umstande verdanken, dass sie den Sauerstoff für sich in Anspruch nehmen, so muss die Erregbarkeit trotz der Anwesenheit der genannten Stoffe durch eine vermehrte Sauerstoffzufuhr zum Muskel erhalten bleiben können. Der Beweis ist schon von Humboldt, Krimer und G. v. Liebig geführt worden; sie sahen die Erregbarkeit des Muskels wachsen mit dem Sauerstoffgehalt der den Muskel umgebenden Luft: die Erregbarkeit ist am grössten, wenn sich der ausgeschnittene Muskel in reinem Sauerstoffgas befindet. Im lebenden Organismus erhöhen vermehrtes Athmen, vermehrte Blutzufuhr, wie sie nach gesteigerter Muskelbewegung und schon durch Reizung des Muskels eintreten, die Sauerstoffzufuhr zum Muskel.

Da alle Oxydationsprocesse zu ihrem Zustandekommen einer bestimmten Temperatur bedürfen, so ist die Erregbarkeit des Muskels an das Vorhandensein einer solchen geknüpft; für eine mittlere Temperatur ist die Erregbarkeit am grössten, sowohl mit dem Steigen als mit dem Fallen der Temperatur nimmt

sie ab. Wir haben darum auch die von Helmholtz erwiesene geringe Erhöhung der Temperatur durch die Muskelaktion unter den erhaltenden Momenten anzuführen.

Die bisher angeführten Momente wirken sowohl im ausgeschnittenen als in dem noch in seinen normalen Verhältnissen im Organismus befindlichen Muskel. Ein Hauptmoment der Wiederherstellung ist hingegen nur in letzterem Falle gegeben: die Wegschaffung der schädlichen Stoffe durch die Circulation, sowohl des Blutes als der Lymphe. Neutralisation ist nicht unbedingt erforderlich. Eine ganz indifferente Flüssigkeit — 0.7% — 1% NaCl — genügt, um alle Erscheinungen der natürlichen Ermüdung zum Verschwinden zu bringen, wenn sie in langsamem Strome analog der Circulation des Blutes durch die Adern des Thieres getrieben wird. Das Blut nimmt, während es an den Muskelschläuchen vorüberstreicht, durch Osmose die ermüdenden Stoffe auf und entfernt sie durch die Ausscheidungsorgane aus dem Organismus. J. Ranke, von Kronecker bestätigt.

Es ist kein Zweifel, dass auch der Mangel an solchen Stoffen, welche im Tetanus oxydirt werden können, Ermüdung herbeiführen könnte. Einen relativen Mangel in dieser Hinsicht bringt schon die angeführte Wasserzunahme des ermüdenden Muskels mit sich. Ich konnte erweisen, dass die Leistungsfähigkeit des Muskels mit seinem Gehalt an festen Stoffen steigt und fällt, so dass ein Muskel um so leistungsfähiger ist, je reicher er an festen, normalen Muskelstoffen im Zustande der Ruhe gewesen ist. Nach langem Hunger, der die Muskelstoffe verzehrt, nach schlechter Kost, in verschiedenen Lebensperioden — Kindheit und Alter —, die mit einer relativ geringen Menge fester Stoffe im Muskel Hand in Hand gehen, nach langer Unthätigkeit, die an Stelle der normalen Muskelstoffe Fette treten lässt, also auch im zahmen Zustand der Thiere, findet sich darum eine geringere Leistungsfähigkeit der Muskeln.

Die Versuche v. Pettenkofer's und C. Voit's ergeben, dass die Arbeitsfähigkeit des Individuums (ebenso des Muskels) von der Menge Sauerstoff abhängig sei, die es vor der Arbeitsleistung in sich aufgespeichert hat.

Bei Reizungsversuchen sieht man bei Kalt- und Warmblütern, besonders so lange der Blutstrom durch den Muskel nicht gestört ist, zuerst ein Ansteigen der Leistungsfähigkeit der Muskeln in Folge der Zusammenziehung, erst auf diese primäre Steigerung folgt die Periode der absinkenden Leistungsfähigkeit (J. Ranke, J. M. Rossbach, Harteneck u. A.). Nur zum Theil bezieht sich diese Erscheinung auf den reichlicheren Blutzufluss zu den arbeitenden Muskeln, es wird durch die chemischen Vorgänge im Muskel zunächst eine »Hemmung« weggeräumt, d. h. die im ruhenden Muskel in grösserer Menge aufgehäuften »ermüdenden Stoffe« theils zerstört und unschädlich gemacht, theils ausgewaschen (cf. das Turnen). — Die Muskeln namentlich warmblütiger Thiere werden durch Perfundirung »unschädlicher« Kochsalzlösung rasch in ihrer Leistungsfähigkeit herabgedrückt; auch Muskeln und Herz kaltblütiger Thiere büssen nach mehrmaliger Durchspülung ihrer Blutgefässe ihre Leistungsfähigkeit ein. Perfundirt man sie nun mit Serum von Kaninchen- oder Lammblut oder mit verdünntem Kaninchenblut (Kronecker und M'Guire),

so kehrt ihre Leistungsfähigkeit zurück; Kronecker glaubt darin eine Speisung des Froschherzens sehen zu müssen.

Man war bisher vielfach der Meinung, dass der Organismus und der einzelne Muskel den Sauerstoff, welchen er zu seiner Arbeitsleistung den dazu nöthigen organischen Oxydationen bedarf, während der Arbeitsleistung direct durch die Athmung beziehe, so dass die während der Beobachtungszeit ausgeschiedene Kohlensäuremenge zugleich auch ein Maass abgebe für den in gleicher Zeit aufgenommenen Sauerstoff. Jetzt ist nachgewiesen, dass dem nicht so ist. Der Organismus bezieht seinen zur Arbeit zu verwendenden Sauerstoff nicht während der Arbeit von aussen, er benutzt zu seinen organischen Oxydationen Sauerstoff, der schon in seinen Organen in lockeren chemischen Verbindungen gleichsam abgelagert war. Je mehr der Organismus Sauerstoff in sich aufgespeichert hat, desto grösser ist seine Arbeitsfähigkeit; alles, was die Ansammlung von Sauerstoff in erhöhtem Maasse ermöglicht, steigert, alles, was sie hindert, schwächt die Arbeitsfähigkeit des Organismus. Alles, was wir über die oxydable Stoffmenge im Organismus gesagt haben, im Verhältniss zur Arbeitsleistung desselben, gilt ebenso auch von dem oxydirenden Stoffe, ohne den auch der oxydable Vorrath keinen Nutzen hat (cf. Athmung).

Als Beispiel des Stoffwechsels bei Ruhe und Arbeit führen wir zwei Gesammtstoffwechselbestimmungen von Pettenkofer und Voit an einem gesunden Arbeiter an (cf. Athmung S. 536).

I. Ruhetag.

Tageszeit	Ausgeschiedene Kohlensäure	Ausgeschiedene Wasser	Ausgeschiedene Harnstoff	Aufgenommener Sauerstoff	Verhältnisszahl
Tag (6—6 hor.)	532,9 Gramm	344,4 Gramm	21,7 Gramm	234,6 Gramm	175
Nacht -	378,6 -	483,6 -	15,5 -	474,3 ? -	—
Zusammen:	911,5 Gramm	828,0 Gramm	37,2 Gramm	708,9 Gramm	94 ?

II. Arbeitstag.

Tageszeit	Ausgeschiedene Kohlensäure	Ausgeschiedene Wasser	Ausgeschiedene Harnstoff	Aufgenommener Sauerstoff	Verhältnisszahl
Tag (6—6 hor.)	884,6 Gramm	1094,8 Gramm	20,1 Gramm	294,8 Gramm	218
Nacht -	399,6 -	947,3 -	16,9 -	659,7 ? -	—
Zusammen:	1284,2 Gramm	2042,1 Gramm	37,0 Gramm	954,5 Gramm	98 ?

Nach Voit's nachträglichen Angaben beruht aber die aus den Tabellen ersichtliche gewaltige Steigerung der Sauerstoffaufnahme in der Nacht auf einem Versuchsfehler. — Da Krankheit und Ermüdung manche Berührungspunkte haben, so stehen hier noch zwei Gesammtstoffwechselbestimmungen an Kranken von denselben Autoren.

Diabetiker.

Tageszeit	Ausgeschiedene Kohlensäure	Ausgeschiedene Wasser	Ausgeschiedene Harnstoff	Ausgeschiedene Zucker	Aufgenommener Sauerstoff	Verhältnisszahl
Tag 6—6 hor.	359,3 Grm.	308,6 Grm.	29,6 Grm.	246,4 Grm.	278,0 Grm.	94
Nacht -	300,0 -	302,7 -	20,2 -	148,1 -	294,2 -	74
Zusammen:	659,3 Grm.	611,3 Grm.	49,8 Grm.	394,5 Grm.	572,2 Grm.	84

Leukämiker.

Tageszeit	Ausgeschiedene Kohlensäure	Ausgeschiedene Wasser	Ausgeschiedene Harnstoff	Aufgenommener Sauerstoff	Verhältnisszahl
Tag (6—6 hor.)	480,9 Gramm	322,1 Gramm	15,2 Gramm	346,2 Gramm	101
Nacht -	499,0 -	759,2 -	21,7 -	329,2 -	110
Zusammen:	979,9 Gramm	1081,3 Gramm	36,9 Gramm	675,4 Gramm	105

Bei dem Leukämiker fällt auf, dass hier bei Nacht mehr Harnstoff abgegeben wird als am Tage, was sonst immer umgekehrt der Fall ist. Schlaflosigkeit bei Nacht ohne Arbeitsleistung steigert nach F. Schenk's und Nencki's übereinstimmenden Versuchen die Harnstoffausscheidung nicht.

Zuckungsgrösse bei Ermüdung. — Mit der Ermüdung nimmt die Zuckungshöhe des Muskels ab, schliesslich hört die Zuckungsfähigkeit auf. Kronecker fand, dass, wenn ein Muskel bei einer bestimmten Ueberlastung in gleichen Zeitintervallen mit gleichen (maximalen) Oeffnungs- und Schliessungsinductionsschlägen gereizt wird, so bilden die Zuckungshöhen eine arithmetische Reihe, deren konstante Differenz allein vom Zeitintervall abhängt; für belastete, aber nicht überlastete Muskeln gilt das Gesetz nur bis zu derjenigen Zuckungshöhe, deren Grösse der Dehnung durch das angehängte Gewicht gleichkommt. Die Abnahme der Zuckungshöhen ist von der Belastung unabhängig und hängt nur von dem Intervall zwischen zwei Zuckungen ab (bei maximalen Reizen).

Todtenstarre des Muskels.

Der Zustand der definitiven Vernichtung der Muskelerregbarkeit, das Absterben des Muskels, zeigt einige Aehnlichkeit mit dem Vorgang der Ermüdung (S. 131). Schneidet man einen Muskel aus dem Organismus aus, so beobachtet man trotz des Vorhandenseins erhaltender Momente ein fortschreitendes Schwinden der Erregbarkeit. Es rührt dies daher, dass nach und nach die oben (S. 714) definirten erhaltenden Momente vollkommen verbraucht werden und die die Erregbarkeit vernichtenden die Oberhand gewinnen. Endlich schwindet die Erregbarkeit ganz, bei Warmblütern rascher, bei kaltblütigen Thieren langsamer: der Muskel stirbt ab. Dasselbe tritt ein, wenn der Muskel innerhalb des Organismus aufhört, der Blutcirculation zu unterliegen, bei allen Muskeln nach dem Tode des Gesammtorganismus oder lokal nach Verschluss einzelner arterieller Gefässe.

Sehr rasch hört, wenn dies eingetreten ist, der normale Stoffwechsel im Muskel auf, dadurch, dass sich die entstandenen Zersetzungsstoffe in ihm aufhäufen. Es folgen bald wesentliche chemische Veränderungen im Muskelsafte: zunächst gerinnen die gerinnbaren Muskelsubstanzen, und es tritt saure Reaktion ein (Harless, Kühne). In Folge davon nimmt der Inhalt des Muskelrohres ein trübes Aussehen und eine teigige Beschaffenheit an. Zugleich verändert der ausgeschnittene Muskel seine Gestalt, er wird kürzer und dicker und vermindert etwas sein Volumen (Schmulewitsch). Sind die absterbenden Muskeln in ihren natürlichen Verbindungen in der Leiche und die Glieder nicht willkürlich verlagert, so nehmen durch diese Muskelverkürzung die Glieder unbewegliche Stellungen ein, die oft daran erinnern, als ob sämmtliche Muskeln sich aktiv zusammengezogen hätten. Dieser Zustand der Muskeln, in welchem der ganze Körper unbeweglich starr wird, trägt den Namen der Todtenstarre. Nach Kühne geht bei Muskelfasern der Todtenstarre meist ein sehr energischer Tetanus voraus, der unmittelbar in die Todtenstarre überführen kann.

Mit dem Aufhören der normalen Oxydationen verschwindet neben den anderen Leistungen des Muskels auch sein electrischer Strom. Die saure Reaktion des Muskelsaftes erreicht ein Maximum, nimmt wieder ab, wird neutral und geht durch Ammoniakbildung (Fäulniss) in die alkalische über. Nach-

dem die Starre einige Zeit gedauert hat, hebt die eintretende Fäulniss die verkürzte Gestalt des Muskels wieder auf, in der alkalischen Flüssigkeit lösen sich die geronnenen Eiweissstoffe, die Glieder der Leiche werden wieder beweglich, die »Starre löst sich«.

Ist durch Tetanus im Leben schon ein grosser Theil der erhaltenden Momente verbraucht, so tritt die Starre schneller ein, z. B. nach Strychninvergiftung, bei gehetztem Wild, bei Tod in der Aufregung und Anstrengung der Schlacht. Bei Warmblütern tritt ihrer höheren Temperatur wegen die Starre meist rasch nach dem Tode ein, bei Kaltblütern unter günstigen Umständen erst nach Tagen.

Brücke verglich die Muskelstarre mit einem Gerinnungsvorgang; Kühne hat die gerinnende Substanz zuerst dargestellt und Brücke's Vermuthung experimentell begründet. Presst man einen Muskel, nachdem man durch Ausspritzen mit Kochsalzlösung von 0,7 pCt. das Blut entfernt hat, so erhält man eine Flüssigkeit, die nach einiger Zeit spontan gerinnt und sauer wird. Die Temperatur ist hierbei von Wichtigkeit, da die Gerinnung um so rascher eintritt, je höher die Temperatur ist; sie geschieht plötzlich bei einem bestimmten Wärmegrad, der für die Kaltblüter 40° C., für die Säugethiere und den Menschen 49°—50°, für Vögel 53° beträgt (Kühne). Die Erhöhung der Temperatur führt auch in frischen, lebenden Muskeln Gerinnung herbei, aus welcher ein der Todtenstarre ganz ähnlicher Zustand, die »Wärmestarre« folgt. Bei 40° treten die ersten Gerinnungen im Froschmuskelsafte ein, bei höheren Temperaturen erfolgen immer neue, bis endlich bei 90° die letzte Gerinnung erfolgt ist. Das Serumeiweiss gerinnt bei 75° C. Wirft man dagegen frische Muskeln in siedendes Wasser, so bildet sich keine saure Reaktion aus (E. du Bois-Reymond). Alle Säuren, auch Kohlensäure, führen zur Myosingerinnung im Muskel. Die im Fleischsaft spontan entstehende Säure ist Fleischmilchsäure, nach Diakonow auch Glycerinphosphorsäure. Der Muskel bildet beim Erstarren auch Kohlensäure. Nach O. Nasse wird dabei der Glycogengehalt des Muskels vermindert. E. Michelsohn suchte nachzuweisen, dass die Myosingerinnung im Muskel bei der Todtenstarre durch ein Ferment zu Stande komme, wie nach A. Schmidt die Blutgerinnung. Er stellte aus dem Muskelsafte ein Ferment dar, welches Fibringerinnung erzeugte.

Bei dem Muskel, der durch Unterbrechung der Circulation abstirbt, lässt sich, wenn die Veränderungen noch nicht zu weit fortgeschritten sind, durch Wiederherstellung der Circulation die Erregbarkeit wieder hervorrufen (Stenson); Brown-Séquard spritzte dazu arterielles Blut ein. Es genügt auch bei Säugethieren schon warme 1 pCt. Kochsalzlösung, um die verlorene Muskelerregbarkeit nach Unterbindung der Aorta, nach Stenson, für kurze Zeit wieder zurückzubringen (J. Ranke). Nach dem wirklich erfolgten Eintritt der Todtenstarre, nach dem Gerinnen der gerinnbaren Muskelsubstanzen ist eine Erneuerung der Circulation, eine Zufuhr arteriellen Blutes zu dem Muskel erfolglos, die Leistungsfähigkeit kehrt nicht zurück (Kühne), wenn man nicht vorläufig das Myosingerinnsel durch 10% Kochsalzlösung wieder auflöst (Preyer).

Muskelerregbarkeit und Muskelreize.

Wodurch wird der Muskel in Bewegung versetzt, wodurch wird die Spannkraft, welche in ihm angehäuft ist, in lebendige Kraft übergeführt? Auf den ersten Blick könnte man die Ansicht fassen, es müsste der Muskel, in welchem ja beständig Kräfte frei werden, ebenso beständig auch Arbeit leisten: man hat diese supponirte »Arbeitsleistung« des ruhenden Muskels als tonische Spannung, Tonus, des Muskels bezeichnet. Es sind im Muskel Hemmungsvorrichtungen gegeben, welche durch einen Anstoss von aussen weggeräumt werden

müssen, um den Muskel aus dem verkürzten in den verlängerten Zustand überzuführen. Dieser Anstoss wird durch die Muskelreize ertheilt. Die Ueberführung aus dem ruhenden in den thätigen Zustand wird als Erregung, die dem Muskel innewohnende Fähigkeit, erregt zu werden, als Erregbarkeit: Irritabilität bezeichnet. Die Erregbarkeit erreicht bei jedem Muskel bei einer bestimmten Temperatur ein Maximum, nimmt also mit dem Sinken und Steigen derselben ab. Auch innere chemische Veränderungen (Ermüdung, Anhäufung der »ermüdenden Stoffe« durch mangelhafte Circulation etc., cf. oben Ermüdung) setzen sie herab.

Der normale Reiz für den Muskel geht von seinem motorischen Nerven aus. Man war der Ansicht, dass es keine eigene Muskelerregbarkeit gäbe, dass alle auf den Muskel, wie man sich vorstellte, nur scheinbar direct wirkenden Reize erst die im Muskel enthaltenen Nervenendigungen und nur durch deren Vermittelung indirect den Muskel in den Erregungszustand versetzten. Es wurde über diesen Gegenstand lange nach beiden Seiten gestritten; der Streit hat sich mit fast absoluter Sicherheit für die directe Muskelerregbarkeit entschieden. Kühne vor Allem hat die beweisenden Thatsachen dafür gewonnen. Er fand bei nervenlosen Muskelstücken, wie bei dem Ende des Frosch-Sartorius, an dem bisher das beste Mikroskop keine Nerven entdecken kann, dass sie auf Reize in Thätigkeit versetzt werden können. Er fand Stoffe, welche nicht den Muskel, jedoch den Nerven erregen e. v. v. Kölliker hat gefunden, dass das südamerikanische Pfeilgift: das Curare, die intramuskulären Nervenendigungen tödtet, ohne darum die Muskelirritabilität aufzuheben. Es finden sich Contractionen bei absterbenden Muskeln, welche auf die Reizstelle beschränkt bleiben, ohne Rücksicht auf den Verbreitungsbezirk der an diesen Stellen verlaufenden Nervenfasern, die meist zu der Zeit ihre Erregbarkeit schon verloren haben: idiomuskuläre Contraction (Schiff). J. Rosenthal hat gezeigt, dass zur Erregung der Muskeln (durch Curare gelähmter Thiere) ein stärkerer Reiz nothwendig ist, als wenn der Reiz vom Nerven aus wirksam wird. Die Stärke der Contraction nimmt durch das Abtödten der Nervenenden nicht ab.

Die Lehre von den Muskelreizen hat für die Physiologie der Contraction hohe Bedeutung, da sie uns Fingerzeige dafür gibt, auf welche Weise wir uns das Zustandekommen der normalen, vom Nerven aus erregten Muskelzuckung zu denken haben.

Ausser dem normalen Nervenreize setzen den Muskel vor Allem electrische Reize, und zwar rasch eintretende Schwankungen der Intensität auf den Muskel wirkender electrischer Ströme in Erregung, z. B. das plötzliche Schliessen und Oeffnen eines konstanten Stromes. Tetanus kann durch rasch auf einander folgende Schliessung und Oeffnung hervorgerufen werden (cf. thierische Electricität). Auch die plötzliche Einwirkung gewisser chemischer Substanzen bringt Muskelzuckungen hervor, und zwar erfolgt dies durch Application aller Substanzen, welche rasch Veränderungen in der chemischen Zusammensetzung des Muskelinhaltes hervorbringen. Es sind dies vor Allem Säuren, anorganische wie organische: Milchsäure und Salzsäure, beide schon sehr verdünnt; auch Metallsalze, alle Kalisalze schon bei starker Verdünnung, in hoher Concentration auch die Natronsalze. Verdünntes Glycerin, Ammoniak, die Salze der Gallensäuren, de-

stillirtes Wasser, wenn es in die Muskelgefässe eingespritzt wird. Die meisten dieser Stoffe wirken vom Nerven aus gar nicht oder in anderen Concentrationsgraden. Auch eine plötzliche Temperatursteigerung über 40° C. wirkt auf den Muskel erregend, besonders leicht Berührung mit stark erhitzten Körpern: thermische Reize. Mechanische Alterationen, plötzliche gewaltsame Gestaltsveränderungen der Muskelfaser: Druck, Quetschen, Zerren, Dehnen, bewirken Erregung. Weiteres im folgenden Capitel.

Das Turnen vom Standpunkte der Gesundheitspflege.

Das Turnen, eine methodische Ausbildung des gesammten willkürlichen Muskelsystemes, wird vor Allem zum Zwecke der Erzeugung erhöhter Kraft und Gewandtheit des Körpers geübt. Es hat diese Muskelübung einen hohen Werth für die Gesundheitspflege. Unsere gesellschaftlichen Zustände bedingen bei einer grossen Zahl der Männer eine meist sitzende Lebensweise; die Arbeiten erfolgen entweder ohne Muskelanstrengung oder mit nur ganz einseitiger. Noch mehr fehlt dem weiblichen Geschlecht besonders in den höheren und mittleren Ständen eine genügende Muskelbewegung. Am wichtigsten wird die Frage der methodischen Muskelausbildung und Uebung für Erziehung der Jugend in den Schulen, in welchen sie zu übermässig langem Sitzen und zu Muskelunthätigkeit gezwungen wird.

Die Vernachlässigung in der Benutzung und Ausbildung der ihrer Masse nach wichtigsten Organe des menschlichen Körpers bleibt nicht ungestraft. Vor Allem ist es die regelmässige Circulation, welche unter dem Einfluss der Muskelunthätigkeit leidet (cf. Blutvertheilung und Thätigkeitswechsel der Organe). Abgesehen von der bei stärkerer Muskelthätigkeit eintretenden allgemeinen Beschleunigung der Circulation wird der Blutzufluss zu den thätigen Muskeln selbst bedeutend gesteigert. Indem sich das Strombett des Blutes in dem thätigen Muskelsysteme erweitert, befindet sich eine grössere Menge von Blut in der gegebenen Zeit in den Muskeln. Es werden dadurch die inneren Organe des Leibes: centrales Nervensystem, Lunge, Unterleibsorgane von einer übermässig angesammelten Blutfülle entlastet, welche ihre Functionen beeinträchtigte, die zu ihrem regelmässigen Zustandekommen meistens einen fortwährenden Wechsel in der Menge des Blutes, das ihnen zugeführt wird, verlangen. Vor Allem zuerst macht sich, wenn die unthätigen Muskeln weniger Blut aufnehmen können, diese Störung der Circulation auf den Leberkreislauf, zu dessen Zustandekommen die geringste Kraftsumme disponibel ist, geltend, von hier aus aber sowohl auf die Lungen als noch stärker auf den Darm und die übrigen Unterleibsorgane, deren venöses Blut durch die Leber abfliessen muss. Es bilden sich krankhafte Erweiterungen der Venen durch das langsamer abströmende, sich gleichsam anstauende Blut. Die Anhäufung des venösen Blutes in den Unterleibsorganen gibt schliesslich Gelegenheit zu der Ausbildung des Krankheitsbildes, welches von Aerzten und Nichtärzten als sogenanntes »Hämorrhoidalleiden« gefürchtet wird, welches wir mit den mannigfaltigsten Störungen, namentlich auch bei dem weiblichen Geschlechte, auftreten sehen.

Durch Muskelthätigkeit wird, abgesehen von dieser Blutentlastung der inneren Organe, auch die Ernährung der Muskeln gesteigert. Unter methodischer Uebung nehmen bei genügender eiweissreicher Nahrung die Muskeln in kurzer Zeit erstaunlich an Masse zu. Dabei vermindert sich das Fett des Körpers entsprechend, weil, so lange verhältnissmässig viel Fett vorhanden ist, bei der Muskelarbeitsleistung vor Allem Fett verbrennt (v. Pettenkofer, Voit u. A.). Die Anwesenheit des Fettes setzt aber durch Verminderung der Gesammtblutmenge die organischen Oxydationen im Organismus herab; je mehr wir dagegen Fleisch = Muskeln am Körper haben, desto energischer verlaufen diese Processe der organischen Verbrennung, auf welchen schliesslich das Leben beruht. Darauf basirt zu einem Theil das Kraftgefühl, das Gefühl von Wohlsein, welches wir als das hervorstechende Charakteristikum der Turner, Bergsteiger und Fusswanderer kennen (cf. unten).

Jede Verbesserung der allgemeinen Muskelernährung macht ihren Einfluss auch auf das Herz geltend. Umgekehrt nimmt mit der Schwächung der Gesammtmuskulatur auch die Leistungsfähigkeit des Herzens ab. Dadurch tritt in noch anderer Art, als oben angegeben, eine Circulationsstörung ein. Die Blutcirculation wird durch die geringere Energie der Herzaktion verlangsamt. In derselben Zeit strömt also in alle Organe weniger Blut, jene Zersetzungsprodukte der Organe, welche wir als Hemmungen der Organthätigkeit kennen gelernt haben, häufen sich in gesteigertem Maasse in den Organen an. Vor Allem machen die betreffenden Stoffe ihre störenden Wirkungen auf die Muskeln und das Nervensystem geltend. Es treten durch ihre Anwesenheit in den Organen jene bekannten Zustände der Halbermüdung ein, welche als sichere Folge der Muskelunthätigkeit erscheinen. Die Unlust zur Bewegung kann sich schliesslich bis zur wirklichen Unfähigkeit dazu steigern. Die häufige Muskelschwäche des weiblichen Geschlechtes beruht zum Theil auf diesem Grunde. Für weniger angestrengte Muskeln habe ich direct einen höheren Gehalt an den betreffenden ermüdenden Zersetzungsprodukten erwiesen.

Durch Muskelbewegung sehen wir zuerst vor Allem die Herzaktion und die Athemthätigkeit gesteigert. Die daraus folgende allgemeine Beschleunigung der Blutcirculation macht sich sogleich auf die Diffusionsvorgänge zwischen Blut und Organen geltend. Die »ermüdenden Stoffe«, welche der Organzersetzung entstammen, werden rascher abgeführt. Die thätigsten Muskeln im Organismus sind am ärmsten an diesen Produkten. Daher kommt es, dass die anfängliche Unlust, die wir nach längerer Ruhe zur Muskelanstrengung fühlen, unter der Bewegung selbst abnimmt, schliesslich verschwindet und in das Gefühl des Wohlbehagens übergeht. Die Muskelanstrengung, welche wir sonst als einen Ermüdungsgrund kennen, wird hier zur Hauptursache des Kraftgefühles. Gleichzeitig beruht das Kraftgefühl auf der reichlichen Blutzufuhr und Ernährung des thätigen Muskels. Nach einer ermüdenden Fusswanderung ist der Appetit und Durst bedeutend gesteigert: der Magen, dem für die Muskeln das Blut entzogen wurde, bringt uns die daraus folgende Blässe seiner Schleimhaut zum Bewusstsein. Reichliche Nahrung führt zu überreichem Ersatz des durch die Arbeit bedingten Stoffverbrauchs, wir erwachen nach vernünftig geleiteter Muskelanstrengung aus gesundem Schlaf mit gesteigertem Kraftbewusstsein.

Aehnlich, wie auf das Muskelsystem, wirkt die Muskelaktion auch auf die Nerven: jene gesteigerte Reizbarkeit mit Schwäche, welche Jedermann als Erscheinung der Nervenermüdung kennt (cf. das folgende Capitel), in Folge der Anhäufung der ermüdenden Stoffe im Nervensystem. Auch aus diesem werden sie durch die gesteigerte Circulation gewaschen. Am deutlichsten wird für die subjective Empfindung diese Reinigung der Nervensubstanz durch Bewegung (gesteigerte Blutcirculation) am Gehirne; objectiv experimentell lässt sich dieselbe mit ihren Folgen an allen Nerven nachweisen. Wie eine Wolke hebt sich die geistige Missstimmung von der Stirne weg, wenn wir nach langer sitzender Berufsthätigkeit bei einer frischen Fusswanderung (Turnen, Tanzen) unserem Muskelsystem sein Recht gewähren.

Noch zwei heilsame Momente kommen im Gefolge der Muskelarbeit zur Geltung: der arbeitende Organismus verliert in sehr hohem Maasse Wasser und Wärme und erfährt eine Steigerung seines Wärmeabgabevermögens. An einer anderen Stelle ist auf das letztere schon aufmerksam gemacht worden. Es rührt offenbar daher, dass die gesteigerte Blutzufuhr zu den peripherischen Organen des Körpers, zu den Muskeln, wobei auch eine Erweiterung der Hautblutgefässe erfolgt, die Wärmeabgabe durch Steigerung der Wärmedifferenz zwischen der mehr erwärmten Körperoberfläche und der äusseren Umgebung (Luft etc.) vergrössert. Die Vermehrung der Wasserabgabe des Körpers durch Muskelthätigkeit ist durch die Versuche v. Pettenkofer's und Voit's anschaulich gemacht worden. Sie haben gezeigt, dass im Gefolge der Muskelarbeit die Wasserabgabe nicht nur während der Arbeitszeit selbst, sondern auch während der darauf folgenden Zeit der Ruhe (im Bett) sehr beträchtlich gesteigert werde. Sie fanden bei demselben Manne:

Die Wasserabgabe am Tage während der	Ruhe	344,0	Gramm
- - - - - -	Arbeit	1094,8	-
- - bei Nacht - -	Ruhe	483,6	-
- - - - - -	Arbeit	947,3	-

Wir sehen, dass mässige Arbeit und Muskelbewegung den Organismus von seiner in den Organen aufgespeicherten Wassermenge befreit, ebenso wie wir das von eiweissreicher Nahrung gesehen haben. Nach JÄGER hebt sich dadurch das specifische Gewicht des menschlichen Gesammtkörpers. Nach v. PETTENKOFER's Annahme ist aber der erhöhte Wassergehalt des Organismus eine disponirende Ursache zu verschiedenartiger Erkrankung. So kann also auch nach dieser Seite die methodische Muskelanstrengung als Präservativmittel angewendet werden.

Die von LING eingeführte sogenannte **schwedische Heilgymnastik** bezweckt, und für entsprechende Fälle mit bedeutender Wirkung, eine methodische Uebung einzelner Muskeln und Muskelgruppen, welche durch krankhafte Verhältnisse in höherem oder geringerem Grade in ihrer Ausbildung oder Functionirung beeinträchtigt wurden. Um die Muskeln zu üben, mussen sie im Allgemeinen veranlasst werden, Lasten zu bewegen oder Widerstände zu überwinden. Bei dem Turnen werden entweder äussere Gewichte in Bewegung gesetzt oder es dient, wie namentlich an den feststehenden Turngeräthen der eigene Körper des Turnenden als zu bewegende Last. Es kann aber wie bei dem Ringen etc. auch die Muskelkraft und Schwere eines Gegners als zu überwindender Widerstand Verwendung finden. Die schwedische Heilgymnastik benutzt zur Uebung einzelner Muskeln und Muskelgruppen in weitgehender Weise specialisirte Ringbewegungen. Durch gut geschulte Personen: Gymnasten, wird der Patient zu den therapeutisch verlangten Muskelbewegungen veranlasst, denen dann der Gymnast, entsprechend der vom Patienten nach dem Heilplan aufzuwendenden Kraft, einen in der feinsten Weise abzustufenden Widerstand entgegensetzt. Um z. B. die Beugemuskeln eines Gliedes zu üben, wird das Glied zunächst gestreckt und der Patient versucht nun, es zu beugen, während der Gymnast durch schwächeres oder stärkeres Festhalten in entsprechender Weise entgegen wirkt. Es sind das nach der Terminologie: duplicirte Bewegungen; concentrisch duplicirt, wenn der Patient gegen den Widerstand des Gymnasten die Bewegung ausführt, excentrisch duplicirt, wenn der Gymnast Sieger bleibt (H. MEYER). Da (passives) Dehnen und Zusammenpressen der Muskeln analog der Muskelzusammenziehung die Blutzufuhr zum Muskel steigert, ihm vermehrtes Ernährungsmaterial zuführt, seinen Stoffumsatz hebt, so kann auch diese Art der Gymnastik in dem Sinne des Turnens etc. wirksam werden. Hauptsächlich wird sich Letzteres zur Unterstützung der Wirkung electrischer Muskel- und Nervenreizung empfehlen oder für geeignete Fälle deren Anwendung ersetzen können.

Zum Schlusse muss noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass Alles, was zum Lobe der Muskelarbeit gesagt wurde, nur seine Geltung behauptet bei genügender (eiweissreicher) Ernährung. Bei schlecht genährten Individuen reibt die Arbeit den Organismus auf. Uebermässige Muskelanstrengung bei sonst (in der Ruhe) genügend scheinender Nahrung kann Anlass zu den verschiedensten krankhaften Störungen geben.

Zwanzigstes Capitel.

Allgemeines aus der Nervenphysiologie und Chemische Physiologie der motorischen Nervenapparate.

Allgemeine Wirkungsweise der motorischen Nerven.

Die Bedingungen der Krafterzeugung liegen im Muskel selbst.

Man könnte sich vorstellen, und in manchen krankhaften Fällen ist es wirklich so, dass die Muskeln auch im lebenden Organismus in Folge ihrer specifischen Erregbarkeit durch Reize, welche sie direct treffen, ohne Mitwirkung der Nerven in Thätigkeit versetzt werden. Diese idiomuskulären einfachen oder tetanischen Zuckungen würden für den Zweck des Organismus kaum Etwas zu leisten vermögen. Nur dadurch wird die Muskelcontraction zu dem, was sie für den Organismus sein soll, dass sich die einzelnen Muskelzuckungen zweckmässig mit solchen anderer Muskeln verbinden. Indem sich gleichzeitig oder abwechsend gewisse Muskelgruppen contrahiren und erschlaffen, werden die Bewegungen hervorgebracht, auf denen die Ortsveränderung des gesammten Körpers zum Aufsuchen eines körperlichen Genusses oder Bedürfnisses oder zur körperlichen Abwehr einer drohenden Gefahr beruht. Es sind die Nerven, welche die rohe Muskelkraft dem Principe der Zweckmässigkeit unterordnen.

Wir finden im lebenden Organismus wie gesagt fast niemals eine Verwerthung der specifischen Irritabilität des Muskels zu Bewegungsvorgängen; Engelmann behauptet normale automatische Contractionen für den Ureter. Es gab eine Zeit, in welcher man glaubte, dass durch den Nerven dem Muskel eine Bewegungskraft vom Gehirne aus zugesendet werde, welche im Muskel direct in mechanische Arbeitsleistung übergeführt würde. Dadurch kam man dazu, die eigene Erregbarkeit des Muskels zu bezweifeln, ihm nur die Rolle eines Kraftübertragungsmechanismus zuzutheilen. Einer der Hauptgründe gegen die Annahme, dass die Nerven Leiter der gesammten Bewegungskraft seien, wie die Röhren, welche den erhitzten Dampf unter den Kolben der Dampfmaschine führen, ist der, dass schon sehr minimale Reize, welche den ausgeschnittenen Nerven, ebenso wie die Antriebe vom Gehirne aus den in normaler Verbindung

befindlichen Nerven, in Thätigkeit versetzen, hinreichen, um eine grosse Kraftleistung des dazu gehörigen Muskels herbeizuführen. Ein electrischer Strom, dessen Bewegungskraft kaum mit den feinsten Hülfsmitteln nachgewiesen werden kann, also fast = 0 ist, ist im Stande, vom Nerven aus wirkend, einen Muskel zum Heben von grossen Gewichten, zu grossen mechanischen Leistungen zu veranlassen. Zwar steigt anfänglich mit der zunehmenden Reizstärke die Leistung des Muskels, aber bald erreicht die Nervenerregung ein Maximum, über das hinaus sie keine stärkere Zuckung des Muskels mehr hervorruft, so dass mit der Steigerung der im Nerven strömenden Bewegungskraft keine Steigerungen in den Leistungen des Muskels mehr eintreten, wie sie doch erfolgen müssten, wenn die Muskelkraft nur übertragene Nervenkraft wäre. Stets erscheint die vom Muskel geleistete Arbeit grösser, als sie der Nervenkraft entsprechen würde. Wäre die Muskelkraft eine Uebertragung der Nervenkraft, so müsste sie, da bei allen Uebertragungsvorgängen nothwendig ein Theil der zu übertragenden Kraft unverwendet abfällt (S. 104), kleiner, nicht grösser sein, als letztere.

Das Kräfteverhältniss in Muskel und Nerven entspricht den Auslösungsvorrichtungen bei Uhrwerken und ähnlichen Maschinen, durch welche mit einer minimalen Kraft eine ganze Reihe fortdauernder mechanischer Leistungen eingeleitet, ausgelöst werden kann. Eine gespannte Feder, welche ein Räderwerk in Bewegung setzt und dadurch Arbeit leistet, kann in ihren Leistungen dadurch, dass man irgendwo einen unter den gegebenen Bedingungen für sie unüberwindlichen Widerstand: eine Hemmung anbringt, trotz der fortdauernden Spannung, unterbrochen werden. Ist die Hemmungsvorrichtung zweckmässig eingerichtet, so genügt ein minimaler Kraftaufwand, um sie zur Seite zu schieben und das Uhrwerk in Gang zu setzen. Eine sehr kleine Kraft wird dadurch Veranlassung verhältnissmässig sehr bedeutender Wirkungen. Die Spannkräfte der Feder werden durch das Wegräumen der Hemmung ausgelöst. Auch im Muskel haben wir eine der im Uhrwerke ähnliche Anhäufung von Spannkräften, die durch den Nerven ausgelöst werden; daher steht der Aufwand von Nervenkraft nicht im Verhältniss der Gleichheit zur erzeugten Muskelarbeit.

(Die Nervenelectricität findet im folgenden Capitel ihre Darstellung.)

Zur Anatomie der motorischen Nerven.

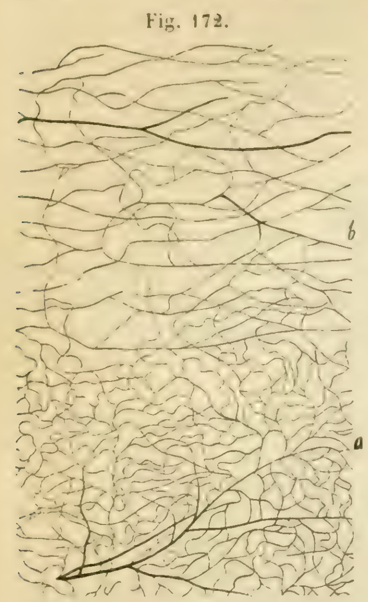
Die allgemeine mikroskopische Anatomie der nervösen Apparate hat S. 41 Darstellung gefunden.

Die Blutgefässe sind in Anordnung und Zahl verschieden, je nachdem die nervösen Gewebe mehr Nervenfasern oder Nervenzellen enthalten. Bei ersteren sind sie sparsam, ähnlich wie bei dem Muskel in regelmässigen langen Maschen an den Fasern hinlaufend, die ganglienzellenhaltigen Nerventheile dagegen enthalten ein reichliches, viel verflochtenes Kapillarnetz (Fig. 172).

Man hatte sich lange vergeblich bemüht, die Endigungsweise der Nerven in den Muskeln zu erforschen. Die Untersuchungen Kühne's u. A. zeigten, dass die Nervenendigungen in directe Berührung treten mit dem Inhalte des Muskelrohres. In den quergestreiften Muskeln endet der Nerv

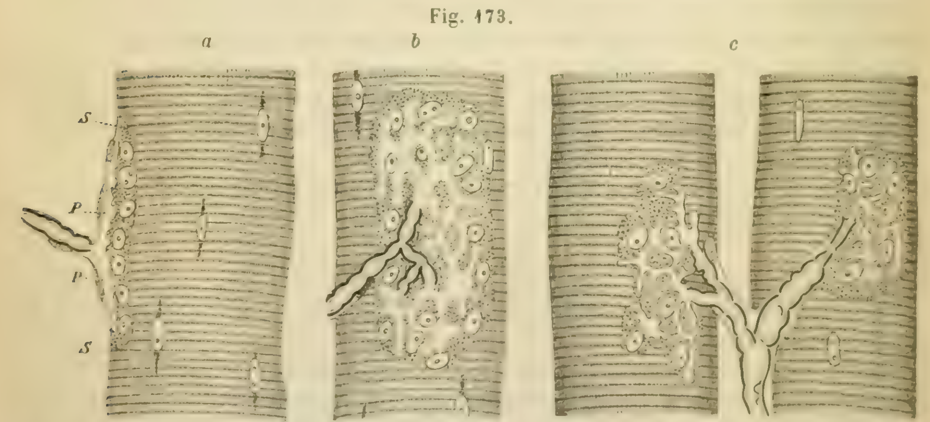
unter dem Sarkolemm unter Verschmelzung der SCHWANN'schen Scheide mit dem letzteren. Die Markscheide begleitet den Axencylinder bis zu dieser Stelle. Das Ende des Axencylinders, die Nervenendplatte, entspricht nach KÜHNE u. A. einer Ausbreitung mit bedeutend vermehrter Oberfläche, welche im Allgemeinen durch eine flach ausgebreitete Verzweigung gebildet wird. Diese Nervenendplatte soll bald mehr membranartig, bald einem Fasersystem vergleichbar sein. In den meisten Fällen scheint die Platte auf einer Sohle von Kernen und feinkörnigem Protoplasma zu ruhen (Fig. 173). An der Nerveneintrittsstelle zeigt sich in der Regel auf der contractilen Substanz eine hügelförmige Erhebung mit nahezu kreisförmiger Basis: der Nervenhügel. LEYDIG hat unter dem Sarkolemma, zwischen diesem und der quergestreiften Substanz, bei allen animalen Muskeln der verschiedenen Thiere, aber in verschiedenem Grade der Ausbildung, eine kernhaltige granulirte Masse nachgewiesen, die er als Matrix des Sarkolemms anspricht. Mit dieser Matrix treten nach ihm die motorischen Nervenenden in Verbindung, so dass das gangliöse Ende (Endplatte) in dieser Matrix liegt.

Fig. 172.



Gefässe der Hirnsubstanz des Schafes nach einer GERLACH'schen Einspritzung. *a* der grauen, *b* der weissen Substanz.

Fig. 173.



Muskelfasern mit Nervenendigungen von Lacerta viridis. *a* im Profil gesehen. *PP* die Nervenendplatte. *SS* die aus granulirter Masse und Kernen bestehende Sohle der Platte. *b* dasselbe in der Aufsicht von einer ganz frischen Muskelfaser, deren Nervenende vermuthlich noch erregbar ist. Die Formen der mannigfach verzweigten Platte sind im Holzschnitte nicht durch so zarte und blasse Contouren wiederzugeben, dass sie der Wirklichkeit entsprechen könnten. *c* dasselbe, wie es nach dem Tode des Nervenendes, sowie zwei Stunden nach Vergiftung mit grossen Dosen Curare erscheint.

J. GERLACH und R. ARNDT haben neuerdings die Angaben KÜHNE's in allem Wesentlichen bestätigt. Ausser den mit dem Nervenhügel in Verbindung tretenden motorischen Fasern

finden sich an den Muskelbundeln auch solche, welche auf der Aussenflache des Sarkolemms frei endigen, oder in Kerne und Kernhäufchen ubergehen, welche ausserlich auf dem Sarkolemma liegen (Koelliker, Arndt u. A.) und vielleicht die sensiblen Nervenfasern der Muskeln darstellen.

Nur bei Salamandra bestehen die motorischen Nervenendigungen aus markfreien und kernlosen, direct ohne jegliches Zwischenglied zwischen Sarkolemm und contractilem Gewebe gelagerten Endfasern, hier fehlen also allein unter allen hoheren Wirbelthieren die Endplatten (Kuhne).

Physikalisch-chemische Nerveneigenschaften.

Zum Verständnisse der Lebensbedingungen des Nerven müssen wir seine chemischen und physikalischen Eigenschaften in derselben Weise studiren, wie wir dies bei den bisher besprochenen Organen, Knochen und Muskeln, gethan haben.

Die mechanischen Eigenschaften, die wir dort einer eingehenden Prüfung unterworfen haben, interessiren uns zunächst weniger: Der ruhende Nerv ist von dem thätigen nicht in seiner Form verschieden, es zeigt sich an ihm keine Gestaltsveränderung analog der Muskelcontraction, die uns zu Untersuchungen z. B. über seine Elasticitätsverhältnisse veranlassen könnte: er ist normal keinem höheren Maass von Zug oder Druck ausgesetzt, denen er durch eine besondere Festigkeit genügen müsste. Das freie Auge nimmt an ihm eine gröbere Querstreifung wahr, die den Namen der Fontana'schen Bänderung trägt und ihr Ansehen einer senkrecht auf die Längsaxe verlaufenden regelmässigen Faltung oder Einknickung der Fasern verdankt. Die Nerven sind etwas länger, als es zur directen Verbindung der Arbeitsorgane mit den Centralorganen: Rückenmark und Gehirn, nöthig wäre, so dass sie sich stattfindenden Gestaltsveränderungen der Glieder, die den Nerven zu dehnen streben, durch Verstreichen dieser Fältchen anpassen können.

Der eigentliche Schwerpunkt ist bei der Untersuchung der Nerven auf die chemischen Bedingungen ihrer Krafterzeugung zu legen, die zweierlei Art ist, insofern wir einmal electrische Ströme an ihnen in gesetzmässiger Richtung den im Muskel beobachteten analog wahrnehmen (E. du Bois-Reymond), die in sicherem Wechselverhältniss zu der Stärke der Lebenseigenschaften und der chemischen Zusammensetzung der Nerven stehen und sich mit diesen ändern; und andererseits die Nerven einen Anstoss entwickeln sehen, als dessen Resultat die Contraction des dazu gehörigen Muskels oder die Empfindung in den nervösen Centralorganen erfolgt.

Die Schwann'sche Nervenscheide scheint wie das Sarkolemma nicht aus eigentlicher elastischer Substanz zu bestehen, sie zeigt sich ebenfalls löslicher als dieses.

Der Inhalt der Nervenröhren ist, wie aus den bisherigen Untersuchungen, so wenig vollständig sie sein mögen, hervorgeht, ein sehr zusammengesetzter, ebenso der jener Nervensubstanzen, welche Ganglienzellen in ihrer Masse enthalten, die selbstverständlich isolirt nur mikrochemisch untersucht werden können.

Die graue Substanz des Gehirnes, welche die Nervenzellen enthält, ist ziemlich viel wasserreicher als die weisse, aus Nervenfasern bestehende.

Ueber die specifischen Eigenschaften der in der Nervenmasse vorkommenden Eiweissstoffe ist noch wenig Sicheres bekannt. Die Nervenzellen enthalten mehr Eiweissstoffe als die Fasern, die graue kernhaltige Hirnmasse enthält mehr Stickstoff (J. Ranke) als die weisse, welche der Hauptmasse nach aus Nervenfasern besteht. Petrowsky fand in den festen Theilen der weissen Substanz 25 pCt., in denen der grauen 50 pCt. Albuminate. Hoppe-Seyler findet im Gehirn Caseïn, auch die Anwesenheit von Myosin ist wahrscheinlich. Nach Petrowsky erthält sowohl die graue als weisse Gehirnsubstanz Eiweissstoffe, die zur Gruppe der Globuline gehören. Die Eiweissstoffe sind in der Nervenfaser im Axencylinder angehäuft. Im Nervenmarke, das den Axencylinder umhüllt, findet sich Cerebrin und Lecithin (Protagon ist nach Hoppe-Seyler eine Verbindung oder richtiger ein Gemenge von Cerebrin mit Lecithin), aus welchen durch Zersetzungen die Hauptmasse der früher als Bestandtheile des Nervengewebes beschriebenen Stoffe entsteht (S. 78), vor Allem die Glycerinphosphorsäure.

Fig. 174.

Corpuscula amylacea aus dem Gehirn des Menschen.

Das Protagon bildet unter Umständen jene eigenthümlichen Gerinnungsformen im Nervenmark, die man mit dem Namen Myelinformen belegt hat.

In der Gehirnoberfläche finden sich öfters (normal?) Stärkemehl ähnliche Körnchen, Corpuscula amylacea (R. Virchow), sie scheinen stickstoffhaltig (C. Schmidt) und färben sich in Jodkalium-Jodlösung schmutzig violett (Fig. 174). Es findet sich auch Cholesterin.

Bibra erhielt aus dem Gehirne eine grosse Reihe von Fettsäuren, welche sich nach ihren Schmelzpunkten, die zwischen 22 und 48° R. liegen, verschieden verhalten. Ausserdem fand er eine »ölige« Säure, welche bei — 4° erstarrte, und einen Körper, welcher bei + 7° schmolz.

Von Interesse ist der Reichthum der Nervensubstanzasche an freier Phosphorsäure und phosphorsauren Alkalien neben sehr geringen Mengen phosphorsaurer Erden, phosphorsauren Eisenoxyds, Chloralkalien und schwefelsauren Kalis (Breed). Die Asche der an Nervenzellen reichen grauen Hirnmasse scheint wesentlich verschieden von derjenigen der markhaltigen, weissen Fasersubstanz, indem erstere nach Lassaigne stark alkalisch reagirt, letztere sauer, von der freien Phosphorsäure herrührend. Der Nervenzelleninhalt scheint danach Lecithin in geringen Mengen zu enthalten. Kühne wies den Mangel an »Protagon« für die Nervenendplattensubstanz nach, welche mit dem Axencylinder hierin übereinstimmt.

Nach Petrowsky's unter Hoppe's Leitung angestellten Untersuchungen wäre die graue Hirnmasse reicher an Lecithin, aber erheblich ärmer an Cholesterin, Fetten und Cerebrin als die weisse Hirnsubstanz.

Physiologische Aenderungen in der chemischen Nervenzusammensetzung.

Wie beim Muskel, so haben wir auch bei den Nerven zu unterscheiden zwischen dem Zustand der Ruhe, dem Zustand der Thätigkeit und dem Zustand des normalen Absterbens. Der Zustand der Thätigkeit unterschei-

det sich von dem Zustand der Ruhe äusserlich nicht, es sind innere Molekularvorgänge, welche die Nerventhätigkeit charakterisiren. Das chemische Verhalten der Nervensubstanz ist im Allgemeinen dem der Muskelsubstanz analog.

Das **ruhende Nervengewebe** zeigt wie das ruhende Muskelgewebe einen fortschreitenden Stoffwechsel. Es ist seit lange bekannt, dass das arteriell in das Nervengewebe eintretende Blut aus diesem venös zurückkommt, beladen mit den Produkten der organischen Gewebsoxydation, namentlich mit Kohlensäure. Die Untersuchungen von W. Müller konstatirten in dem Gehirnextrakt die uns meist schon aus dem Muskelgewebe bekannten Stoffwechselprodukte: Inosit, Milchsäure, Ameisensäure, Essigsäure, Kreatin, Harnsäure, Hypoxanthin, Leucin, Picard fand Harnstoff.

Ich habe nachgewiesen, dass das ruhende Nervengewebe (Gehirn von Tauben) ganz wie das Muskelgewebe eine Gewebsrespiration zeigt. Das lebensfrische Gehirn haucht Kohlensäure aus und nimmt dafür Sauerstoff aus der Atmosphäre auf. Auf 24 Stunden berechnet fand ich die Kohlensäureabgabe im Maximum zu 7,73 Milligramm, die Sauerstoffaufnahme zu 2 Milligramm bei einem Gewicht der Nervensubstanz von 2 Gramm. Es existirt also auch hier, wie bei der Gewebsrespiration und der Athmung im Allgemeinen keine genaue Kongruenz zwischen dem aufgenommenen Sauerstoff und der abgegebenen Kohlensäure, 2 Milligramm Sauerstoff sollten 11,3 Milligramm Kohlensäure liefern. Ueber die Grösse des Stoffwechsels im ruhenden Nervengewebe gaben uns die beigebrachten Angaben den ersten Aufschluss. Meine Untersuchungen über den Blutgehalt der Organe lehrten weiter, dass die ruhende Nervensubstanz (Gehirn und Rückenmark) ziemlich den gleichen Blutgehalt, bezogen auf ihr Organgewicht, haben wie die ruhenden Muskeln. Letztere enthalten (bei Kaninchen) im Mittel 5,14 pCt., die Nervensubstanz 5,52 pCt. Blut. Die Intensität des Stoffwechsels wird sonach in beiden Gewebsgruppen im Ruhezustand nahezu identisch sein.

Der **thätige Zustand der Nerven** unterscheidet sich von dem ruhenden Zustande durch eine Steigerung des normalen Organstoffwechsels. Funke und ich haben nachgewiesen, dass die normal schwach alkalische, zum Neutralen sich neigende Reaktion des ruhenden Nervengewebes durch starke Thätigkeit in eine saure Reaktion sich umwandelt. Am deutlichsten ist diese Veränderung der Reaktion an den nervösen Centralorganen, doch fehlt sie auch an den Nervenstämmen nicht. Die Versuche gelingen am besten am Frosch. In dem unverletzten Organismus tritt bei der Thätigkeit des Nervengewebes auch eine gesteigerte Blutzufuhr zu demselben ein und zwar sowohl zu den nervösen Centralorganen als zu den Nervenstämmen. Der gesteigerte Blutzufluss führt das zur Erhöhung des Nervenstoffwechsels erforderliche Material: Sauerstoff und oxydable Stoffe zu. Eine Steigerung der Gewebsrespiration ist bei der Nerventhätigkeit noch nicht festgestellt. Von weiteren Veränderungen in dem chemischen Verhalten der thätigen Nervensubstanz im lebenden Organismus habe ich bei Fröschen noch eine Veränderung im Wassergehalt der nervösen Centralorgane und zwar eine Wasserverminderung nachgewiesen, während dagegen bei den Nervenstämmen eine Wasservermehrung durch den Tetanus, wie sie sich bei dem Muskel findet, wahrscheinlich wurde. Die centrale Nervensubstanz der Frösche ist, wie auch die graue Nervenmasse der Säugethiere

und des Menschen normal, wasserreicher als das Blut. Bei der Steigerung der Diffusion zwischen den Gewebsflüssigkeiten und der centralen Nervensubstanz, wie sie durch den gesteigerten Stoffwechsel bei der Thätigkeit der letzteren im Gesammtthiere bedingt wird (S. 131), werden also feste Stoffe aus dem Blute in jene eintreten und sie dadurch relativ wasserärmer machen. Die Veränderungen des Wassergehaltes sind, wie wir unten sehen werden, von dem grössten Einfluss auf die Nervenerregbarkeit. Eine Wärmebildung im thätigen Nerven wird von VALENTIN behauptet.

Der Zustand des Absterbens charakterisirt sich bei dem Nervengewebe wie bei dem Muskel- und Drüsengewebe durch eine Vermehrung der Consistenz (E. DU BOIS-REYMOND) und Auftreten einer sauren Reaktion (FUNKE, J. RANKE). Wir bezeichnen diesen Zustand, analog wie bei dem Muskel, als Nervenstarre. Auch bei diesem Zustande findet Kohlensäurebildung und Sauerstoffabsorption statt. Die Vermehrung der Consistenz beruht auf der »Gerinnung« des Nervenmarks (Myelingerinnung [?]) und auf Gerinnung der Eiweissstoffe im Axencylinder. Die Starre löst sich in der Folge durch Fäulniss. Es gibt bei dem Nerven wie bei dem Muskel auch eine Wärmestarre. Erwärmt man die Gehirnmasse von Tauben auf 45—55° C., so tritt saure Reaktion ein. Erhitzt man dagegen rasch auf 100° C., so bleibt wie bei dem Muskel die Reaktion alkalisch (J. RANKE).

Die normale Erregbarkeit des Nerven, seine Fähigkeit, durch einen Reiz in den thätigen Zustand überzugehen, ist von seiner normalen chemischen Constitution bedingt. Die specifische Erregbarkeit des Nerven ist im Allgemeinen, wie sich aus den Untersuchungen J. ROSENTHAL's ergibt (cfr. Idiomuskul. Zuck. S. 720) grösser als die der Muskeln; gleich starke Reize wirken auf den Nerven stärker erregend als auf den Muskel ein, dessen Nervenendigungen durch Curare gelähmt wurden.

Veränderungen des normalen chemischen und physikalischen Verhaltens der Nervensubstanz bewirken zuerst eine Erhöhung, in der Folge eine Verminderung der Erregbarkeit. Diese Erhöhung der Erregbarkeit darf nicht als eine Steigerung der Lebenseigenschaften des Nerven betrachtet werden, sie ist im Gegentheil das erste Stadium der **Nervenermüdung,** deren zweites Stadium erst eine Herabsetzung der Erregbarkeit ist.

Störungen in dem Nervenstoffwechsel und damit Erregbarkeitsveränderungen treten ein, wenn der Nerv von seinem lebenden Centralorgane abgetrennt wird, entweder durch Schnitt oder durch Absterben des letzteren. Wir sehen hier seine Erregbarkeit zuerst beträchtlich zu-, dann bis zum Erlöschen abnehmen, die dem Centralorgan näher gelegenen Nervenstrecken zeigen diese Erregbarkeitsveränderungen früher als die entfernteren (RITTER-VALLI-sches Gesetz). Anlegen eines neuen Querschnitts beschleunigt den Ablauf des Vorgangs (J. ROSENTHAL). Ebenso wirkt die dauernde Unterbrechung der normalen Thätigkeit des Nerven: übermässige Ruhe, durch Abtrennen oder Lähmung seines Erfolgsorgans. In beiden Fällen ist die normale Ernährung der Nerven gestört, es zeigen sich, wenn der Nerv im Körper verbleibt, in der Folge chemische und morphologische Veränderungen, die man als fettige Degeneration der Nerven bezeichnet. Auch durch die Thätigkeit wird die Er-

regbarkeit des Nerven zuerst erhöht, in der Folge vermindert, oder bei übermässiger Anstrengung sogar vernichtet. Auf die Wirkung anhaltender Thätigkeit kann durch Ruhe wieder Erholung folgen; auf anhaltende Ruhe bringt, wenn die Erregbarkeit noch nicht vollkommen verloren ist, vorsichtig und langsam wieder eingeleitete Thätigkeit die Erregbarkeit zurück, ein Hauptprincip der Nerven- und Muskeltherapie. Ganz analog wie der Erfolg der Erregung ist die Wirkung der Wärme unter 45° C. auf Froschnerven. Sie bewirkt zunächst eine Steigerung der Erregbarkeit, um so bedeutender, je höher (in gewissen Grenzen) die angewendete Temperatur ist. In der Folge sinkt dann die Erregbarkeit, und zwar schneller bei höheren Temperaturen. Temperaturen über 45° C. vernichten die Erregbarkeit um so schneller, je höher sie sind, bei 70° sterben die Nerven augenblicklich. Bis zu 50° ist durch Wiederabkühlen eine Wiedererholung des Nerven möglich (J. Rosenthal, Afanasieff u. A.). Mechanische Alterationen: Zerren, Quetschen etc., erhöhen ebenfalls zunächst die Erregbarkeit (J. Ranke und Cornet u. A.), um sie dann zu vernichten. Dasselbe ist von anderen groben chemischen Nervenalterationen, z. B. Vertrocknen, bekannt. Vertrocknen und plötzliche Temperatursteigerungen wirken als Reize (cf. unten).

Die **Ursachen der Erregbarkeitsveränderungen.** — Sie liegen, nach dem Gesagten, vorwiegend in chemischen Schwankungen innerhalb der Nervensubstanz.

Durch Absterben, durch Thätigkeit, durch Wärme, durch Vertrocknen geht die alkalische Reaktion des Nerven, wie wir sahen, in eine saure Reaktion über. Hand in Hand mit der Säurebildung gehen Veränderungen im Wassergehalt des Nerven, und es häuft sich in ihm Kohlensäure an. Andererseits wird durch Mangel seiner normalen Thätigkeit, welche mit einer Säureproduktion verknüpft ist, die alkalische Reaktion des Nerven gesteigert. Dazu kommt noch, dass aus den Gewebsflüssigkeiten Stoffe in die nervösen Centralorgane eintreten können, z. B. Kalisalze, Harnstoff, Kohlensäure etc. (cf. oben S. 730), welche die Erregbarkeit wesentlich modificiren.

Meine Versuche haben gezeigt, dass eine künstliche Ermüdung des Nerven möglich ist durch Imprägniren desselben mit denselben Stoffen, welche wir oben als »ermüdende Stoffe« für den Muskel und eben erst als Stoffwechselprodukte der Nervensubstanz kennen gelernt haben. Bei der künstlichen Ermüdung der Nerven steigt, wie bei der natürlichen, die Erregbarkeit zunächst an, um darauf zu sinken. Durch Neutralisation und Auswaschen der ermüdenden Stoffe kehrt die alte Erregbarkeit wieder zurück. Die ermüdenden Stoffe für den Nerven sind: alle Säuren und Alkalien, sowie die sauren und alkalischen Salze, von den neutralen Salzen vor Allem die Kalisalze. Ebenso ermüdend wirkt Veränderung im Wassergehalt, sowohl eine Zunahme als eine Abnahme desselben. Diese chemischen Veränderungen brauchen nur minimal zu sein, um schon sehr wesentliche Aenderungen in der Erregbarkeit herbeizuführen. Von der Kohlensäure beobachtete ich bisher nur eine die Erregbarkeit vermindernde Wirkung, die Nervencentralorgane sterben rasch ab, die Nervenstämme bleiben aber unter ihrer lange fortgesetzten Einwirkung in vermindertem Grade erregbar. Der Nerv bedarf wie der Muskel zur Erhaltung seiner Erregbarkeit für längere Zeit keine Neuzufuhr von Sauerstoff, er besorgt zunächst seine physiologischen Oxydationen aus dem in ihm aufgespeicherten Sauerstoff (S. 729). Die Thätigkeit des Nerven, seine Ermüdung, seine Restitution nach Ermüdung durch Unschädlichmachen und Entfernen der ermüdenden Stoffe verlaufen in einer Wasserstoffatmosphäre ebenso wie in sauerstoffhaltiger Luft. Der Nerv stirbt bei höheren Temperaturen

in Sauerstoff sogar rascher ab als in Wasserstoff (J. Ranke, Pflüger und Ewald), er verhält sich hier wie ein dünner Muskel.

Die Zunahme der alkalischen Reaktion tödtet den normalen Nerven sehr rasch. Ammoniakdämpfe tödten ihn ohne vorhergehende Erhöhung der Erregbarkeit. Lassen wir aber auf einen künstlich oder physiologisch gesäuerten Nerven Ammoniakdämpfe einwirken, so steigt, wie durch andere Alkalien, die Erregbarkeit des Nerven. Bei Nerven, die durch künstliche Steigerung ihrer Alkalinität in ihrer Erregbarkeit herabgesetzt sind, bringen umgekehrt Säuren die normale Erregbarkeit zurück. Es stimmen diese Verhältnisse mit den am Zellenprotoplasma beobachteten (S. 419) vollkommen überein.

Die physiologischen und pathologischen Schwankungen der Nervenerregbarkeit beruhen ebenfalls auf diesen chemischen Ursachen. Bisher ist davon vor Allem die Schwankung des Wassergehaltes der Nerven in verschiedenen Lebensaltern, bei Krankheiten etc. untersucht. Kindliches Alter und Ernährungsstörungen (Marasmus, Nervenschwäche) sind durch grösseren Wasserreichthum, Cholera, mit einer Abnahme von Wasser in der Nervensubstanz verknüpft. Beide Ursachen bedingen zunächst eine Steigerung, zuletzt eine Schwächung der Erregbarkeit. Der mittlere normale Wassergehalt des Froschnerven beträgt 75 % (Minimum 72 %, Maximum 79 %), die Grenzen des Nervenlebens fand ich zwischen einem Wassergehalt von im Minimum 56 %, im Maximum 89 %. Schon eine ganz geringe Menge ermüdender, in den Froschnerven eindringender Stoffe führt seinen Tod herbei: von neutralen Kalisalzen (Chlorkalium) bedarf es zum Tod eines Froschischiadicus nur 0,2 Milligramm; von Säuren etwa 1 Milligramm, am raschesten tödtet Phosphorsäure; von Kali thun das schon 0,35 Milligramm. Es geht weiter aus meinen Versuchen hervor, dass der Nerv eine Säuerung, wie sie physiologisch im Tetanus eintritt, viel besser verträgt, als eine Zunahme seiner normal schwach alkalischen Reaktion

Nervenreize.

Wie für den Muskel die normale Erregung stets von den Nerven aus erfolgt, so werden den Nervenfasern die Anstösse zur Erregung bei normalen Verhältnissen durch die nervösen Centralorgane vermittelt.

Aehnlich wie der Muskel besitzt die Nervenfaser ihre eigene Irritabilität, so dass sie auch abgetrennt von den Centralorganen in den erregten Zustand überzugehen vermag; unter normalen Bedingungen wird diese idionervöse Erregbarkeit jedoch ebenso wenig zur Bewegungsvermittelung benutzt wie die idiomuskuläre. Die oben S. 724 besprochene Unterordnung der Bewegungen unter das Princip der Zweckmässigkeit für die Bedürfnisse des Organismus ist also nicht sowohl den Nervenfasern selbst als den nervösen Centralorganen übertragen. Ein mechanischer Reiz, auf die Continuität des Nerven ausgeübt, wie Durchschneiden, Zerren, Druck, Quetschen, bringt Muskelzuckungen hervor, die aber im Allgemeinen ebenso wenig für den Organismus zu leisten vermögen, wie die durch directe Reizung des Muskels entstandenen.

Das Studium der Nervenreize hat den Hauptzweck, den normalen Vorgang der Nervenerregung von den Ganglienzellen aus zu erklären. In therapeutischer Hinsicht ist es weiter nöthig, Nervenreize zu kennen, welche dann, wenn der Zusammenhang der Nerven mit den Centralorganen gestört und damit die Aktion der Nerven und Muskeln gehemmt ist, gestatten, die betreffenden Organe zeitweise in Thätigkeit zu versetzen, um sie den schädlichen Einwirkungen der Unthätigkeit zu entziehen. Auch für diagnostische Zwecke sind derartige Reizungen vonnöthen, um zu entscheiden, ob bei gewissen krankhaf-

ten Zuständen die Muskel- und Nervenerregbarkeit fortbesteht oder nicht. Zu den ärztlichen Zwecken eignet sich vor Allem die electrische Reizung des Nerven mit Hülfe von Intensitätsschwankungen (z. B. Unterbrechen und Schliessen) eines electrischen Stromes. Ausgeschnittene Nerven und das Rückenmark reagiren auch, wie wir sehen werden, auf sehr starke und sehr schwache Ströme, die sie in konstanter Intensität längere Zeit durchfliessen (cf. folgendes Capitel).

Die chemischen Reize für den Nerven bedürfen einer stärkeren Concentration als für den Muskel (Kühne). Als chemische Nervenreize sind concentrirte Lösungen von Mineralsäuren, concentrirte Milchsäure und Glycerin, Alkalien, Alkalisalze zu nennen. Ammoniak und Metallsalze, die den Muskel erregen, tödten den Nerven, ohne Zuckungen auszulösen. Auch Wasserentziehung durch Salze und Vertrocknung wirkt bei einem gewissen Stadium erregend. Höhere Temperaturen tödten den Nerven, eine Temperatur von 40 bis 45° C. erregt ihn hingegen, ohne zu tödten.

Zur Erregung des Nerven ist es erforderlich, dass rasch chemische oder physikalische Aenderungen in ihm eingeleitet werden (cf. Muskelreize), die primär eine Erhöhung seiner Erregbarkeit hervorrufen. Von der Kohlensäure und vom gasförmigen Ammoniak beobachteten wir bei normalen Nerven sogleich Verminderung, resp. Vernichtung der Erregbarkeit, sie bringen in Folge davon keine Erregung der Nerven hervor. Der Vertrocknungs- und Wärmereiz könnte vielleicht in dem durch die betreffenden Einflüsse veranlassten Auftreten einer Säure im Nerven beruhen, welche wohl als der normale physiologische Reiz des Nerven, sowie der Ganglienzellen und der Muskeln, angesprochen werden kann, da wir sahen, dass in ihnen eine Säure im Tetanus entsteht. Die rasche Bildung der Säure bei der Muskelaktion wird auf electrolytischer Zersetzung vom Nerven aus beruhen.

III. Thierische Electricität.

Einundzwanzigstes Capitel.

I. Der Muskel- und Nervenstrom.

In der Betrachtung der Lebenseigenschaften der Muskeln und Nerven wurden mehrfach die electrischen Ströme dieser Organe erwähnt, deren Vorhandensein und gesetzmässigen Verlauf sowie ihre Veränderung mit dem Wechsel der Lebensbedingungen der Organe, in denen sie sich finden, von E. du Bois-Reymond der Wissenschaft gelehrt wurden. Ein näheres Eingehen auf diesen Gegenstand wurde bisher ausgesetzt, weil die betreffenden Erscheinungen, so innig sie mit dem allgemeinen physiologischen Verhalten der Organe zusammenhängen, doch ein abgeschlossenes Forschungsgebiet für sich darstellen.

Es liegt uns die Zeit nicht ferne, in der man, anknüpfend an Galvani's Entdeckungen, die wichtigsten Lebensvorgänge alle als ein Spiel electrischer Kräfte — electrischer Spannungen, electrischer Ströme — auffassen zu müssen meinte. Zum Theil mit grosser wissenschaftlicher Energie wurden an dem Gesammtkörper der Menschen und Thiere und in ihren Organen electrische Ungleichartigkeiten, welche die Geheimnisse des Lebens erklären sollten, gesucht. Die wesentlichste Frucht dieser Bemühungen war Nobili's Beobachtung, dass durch den Körper des lebenden normalen Frosches ein mit dem electrischen Multiplicator unzweifelhaft nachweisbarer electrischer Strom: Froschstrom, in der Richtung von den Füssen zum Kopf verlaufe.

E. du Bois-Reymond entdeckte, dass alle lebenden Nerven und Muskeln wahre Electromotore seien, dass ihre electrische Kraft direct der Stärke ihrer sonstigen Lebenseigenschaften entspreche und mit dem Tode aufhöre. Mit der Ruhe und Thätigkeit der Muskeln und Nerven zeigt das electromotorische Verhalten derselben einen gesetzmässigen Zusammenhang. Der sogenannte Froschstrom ist das Gesammtresultat der electrischen Muskel- und Nervenströme. Die electrischen Ströme in Muskeln und Nerven finden sich aber nicht bloss bei den kaltblütigen, sondern sind den Muskeln und Nerven aller darauf untersuchten Thiere, auch des Menschen eigenthümlich. Auch in anderen Organen, namentlich in Drüsen, finden sich regelmässige electrische Strömungen: Drüsenströme.

Zur Geschichte der thierischen Electricität (nach E. du Bois-Reymond).

In keinem Gebiete der Naturforschung hielt sich eine wissenschaftliche Mystik so lange als in dem uns vorliegenden. Hochtrabende Hypothesen, auf mit halbem Auge gesehene Trugbilder gestutzt, bildeten bis auf unsere Tage die Hauptmasse ihres wissenschaftlichen Materials. Die physiologische Electricitätslehre war fast Nichts als eine Reihe mehr oder weniger schwachlicher Analogien und daran sich knüpfender Vermuthungen. Als Wissenschaft ist sie vollkommen neu erst von den Entdeckungen du Bois-Reymond's datirend. Sein Werk: Untersuchungen über thierische Electricität, erschien 1848.

Vor der Entdeckung des Galvanismus waren es die statisch-electrischen Erscheinungen, die Spannungselectricität, auf welche die Wünsche und Hoffnungen derer gerichtet waren, die sich mit Begründung der thierischen Electricität befassten. Man suchte durch Reiben, z. B. an thierischen Theilen: Federn, Pelz, getrockneten Nerven Spannungselectricität hervorzurufen und glaubte, wenn dies gelang, damit die electrische Natur des Nervenprincipes, wie man die im Nerven wirksame Kraft nannte, erwiesen zu haben. Man zog hierbei alle erdenklichen Beobachtungen herbei, die oft nicht einmal mit der Electricität im Allgemeinen etwas zu schaffen hatten: das Leuchten der Katzenaugen im Finstern, der Glühwürmchen, das Blitzen der Augen eines Zornigen etc.

Auch wirklich wissenschaftliche, methodisch angestellte Versuche sind jedoch aus jener Zeit zu erwähnen. Man stellte Individuen auf einen Isolirstuhl und untersuchte, ob sich an ihnen, auf der Haut, Spannungselectricität nachweisen lasse. Hier steht an der Spitze Saussure der Vater. Er entdeckte keine Regelmässigkeit in den electrischen Erscheinungen und schreibt diese richtig der Reibung der trockenen, leicht electrisirbaren Epidermis an den Kleidern, z. B. bei dem Athmen, zu. Hammer und Gardini wollten in einer grossen Anzahl unabhängig von einander gemachter Untersuchungen bei Gesunden als das Normale positive Electricität gefunden haben. In Krankheiten solle diese verschwinden oder sich in negative electrische Spannung umwandeln (1791—1793). Ahrens machte unter Pfaff's Leitung (1817) mit den besten Hülfsmitteln und der grössten Sorgfalt ähnliche Untersuchungen, in denen er die positive Electricität des gesunden Menschen bestätigte. Abends, bei reizbaren Menschen, nach dem Genuss geistiger Getränke, ist die Menge der Electricität grösser. Die Frauen sind häufiger negativ electrisch als die Männer, ohne dass man jedoch hierin eine feste Regel gefunden hätte. Nasse d. J. hat diese Versuche wiederholt und fand stets auch bei den Leichen positive Electricität, er leitete sie von der mit dem Versuche nothwendig verknüpften Reibung an der Epidermis ab (1834). In neuerer Zeit sind von Meissner in dieser Richtung Versuche veröffentlicht worden.

Aus allen diesen Beobachtungen geht unstreitig hervor, dass bei Anstellung der betreffenden Versuche ein Quell von vornehmlich positiver Electricität gegeben sei. Es scheint, dass diese aber in der Reibung an den Kleidern und Apparaten beruhe. Man ist nach meinen Beobachtungen im Stande, den Korper des Menschen auf dem Isolirschemel stehend scheinbar vollkommen zu entladen und durch Reiben an der trockenen Epidermis, namentlich aber durch Bürsten der Haare dem Körper eine grössere Summe positiver Electricität wieder zu ertheilen. Steigt zu einer »vollkommen entladenen« Person eine noch »geladene« auf den Isolirschemel, so strömt auf erstere ein Theil der Electricität der anderen Person über, die vorher entladene zeigt sich wieder geladen. Bei dem Wiederherabsteigen der zweiten Person bleibt die erste in manchen Fällen mit negativer Electricität geladen zurück. Sowie die Haut feucht wird, z. B. bei stärkerer Körperbewegung, bei feuchter Luft, fehlt alle Spur von Spannungselectricität. Die ganze Frage selbst hat darum für die Physiologie wenig oder keinen Werth, weil die Spannungselectricität, wenn auch solche im Körper, wie sehr wahrscheinlich ist, sich bilden sollte, beständig mit der Erdelectricität sich ausgleichen muss, so lange keine Isolation statttindet, so dass sich also nie irgendwie beträchtliche Mengen anhäufen

können. Uebrigens ist die Spannungselectricität zur Hervorrufung von örtlichen Wirkungen, worauf es in den Organismen allein ankommen würde, nicht geeignet.

Auch Blut und thierische Absonderungen wurden auf freie Spannungselectricität untersucht, die selbstverständlich erst nach dem Herausnehmen aus dem Körper entstehen kann, da im Körper die Bedingungen der electrischen Isolation nicht gegeben sind. Harn und die Fäden der Spinnen fand man negativ electrisch, das Blut positiv.

Die bisher besprochenen electrischen Erscheinungen haben mit dem Lebensvorgange Nichts gemein. Sie bestehen noch fort nach dem Tode des Organismus. E. du Bois-Reymond hat das Gebiet der thierischen oder physiologischen Electricität auf nur jene Erscheinungen electrischer Natur beschränkt, welche an Thieren oder an Theilen derselben, so lange sie im Besitze ihrer Lebenseigenschaften sind, im unmittelbaren Zusammenhang der Ursache und Wirkung mit den Vorgängen des Lebens, wahrgenommen werden können. Es gehört demnach zur Definition, dass die fraglichen Erscheinungen mit dem Schwinden des Lebens mitschwinden und erlöschen.

So bleiben denn auch jene Erscheinungen electrischer Ströme in Organismen ausgeschlossen als ein eigenes Grenzgebiet, welche nach dem Tode noch fortbestehen, also nicht in dem postulirten Zusammenhang mit dem Leben stehen, aber doch gerade wie nach dem Tode schon im lebenden Organismus bestanden haben können. Sie sind als Abgleichungsvorgänge von Processen anzusehen, welche durch das Leben eingeleitet wurden. Hierher gehören die von Alexander Donné entdeckten electrochemischen Strömungen im Innern des Körpers zwischen Absonderungsorganen von verschiedener chemischer Reaktion. Diese Ströme gehen noch fort an den ausgeschnittenen, ja faulenden Eingeweiden von saurer oder alkalischer Beschaffenheit. Es ist noch fraglich (?), ob diese Ströme schon vor den Bedingungen des Versuches, vor der Verbindung mit dem stromableitenden Bogen vorhanden waren, so dass es wenig zulässig erscheint, sie zur Erklärung für physiologische Vorgänge, wie es z. B. der Natur gelingt, saure und alkalische Flüssigkeiten abzusondern, zu benutzen.

Das Wesentlichste in der ganzen Entwickelung der thierischen Electricität vor du Bois-Reymond ist die Entdeckung der »Zuckung ohne Metalle« und des sogenannten »Froschstromes«, des electrischen Stromes, der sich an dem Gesammtfrosche zeigt, so lange er im Vollbesitze seiner Lebenseigenschaften ist.

Diese Entdeckungen, welche mit der des Galvanismus überhaupt zusammenfallen, gehören Galvani und der Bologneser Schule an. Im September des Jahres 1786 war Galvani mit seinem Neffen Camillo Galvani beschäftigt, die Einflüsse der Luftelectricität, besonders des Blitzes, auf das noch jetzt als Galvani'sches Präparat bezeichnete Froschpräparat zu studiren, welches aus den enthäuteten nur durch die Nerven mit dem Rückgrat und Rückenmark zusammenhängenden Schenkeln des Frosches besteht. Es wurde, an einem kupfernen Haken befestigt, an dem eisernen Gitter von Galvani's Landhause, wo die Versuche angestellt wurden, aufgehängt. Sowie sich die beiden Metalle berührten, trat ein Zucken des Präparates ein. Galvani kam durch dieses Phänomen auf den Gedanken der thierischen Electricität, obwohl dieses mit einer solchen Nichts gemein hatte, sondern vielmehr die Entdeckung der electrischen Ströme war, welche ihren Grund in den Ungleichartigkeiten der Metalle haben. Galvani entging dieses Gesetz, und zwar um so leichter, da er auch Zuckungen eintreten sah, wenn dem Präparate ein Bogen aus einem, wie es schien, vollkommen gleichartigen Metall angelegt wurde, so dass das Zuckung-Erregende bei diesen Versuchen nur die im gleichartigen Bogen strömende, abgeleitet thierische Electricität selbst scheinen konnte.

Volta, der sich anfangs begeistert den Ansichten Galvani's angeschlossen hatte, entdeckte bei ungleichartigen Metallen — in Galvani's erstem Grundversuch waren es wie erwähnt Kupfer und Eisen — den wahren Sachverhalt, dass durch ihre Berührung electrische Ströme erzeugt werden, die die Reizung des Froschpräparates hervorgebracht hatten, und wies nach, dass auch scheinbar gleichartige Metallbogen aus nur einem Metall durch allerlei scheinbar unverfängliche Kleinigkeiten, wie Rost, Wärmeunterschiede, Politur und Rauhheit,

verschiedene Härtegrade, wie sie durch ungleiches Hämmern hervorgebracht werden etc., so ungleichartig werden können, dass ein genügend starker Strom entsteht, um das Muskelpräparat zu erregen.

Jetzt erst entdeckte Galvani den wahren Grundversuch der Electrophysiologie: die Zuckung ohne Metalle, und wurde so der wahre Urheber der neuen Disciplin, die er seiner Meinung nach schon Jahre vorher begründet hatte. Er beschreibt diesen Versuch folgendermassen: »Ich richtete das Thier nach der gewöhnlichen Weise zu, schnitt beide Ischiadnerven dicht an ihrer Austrittsstelle aus dem Wirbelcanal ab und trennte beide Beine von einander, so dass jedes mit seinem Nerven gesondert zurückblieb. Sodann krümmte ich den einen Nerven in Gestalt eines Bogens, hob den anderen mit dem gewohnten Glasstäbchen auf und liess ihn auf den von dem anderen gebildeten Bogen in der Weise fallen, dass er diesen in zwei Punkten traf, deren einer der Querschnitt des ruhenden Nerven war. Ich sah das Bein des fallenden Nerven und manchmal auch beide Beine zucken. Der Versuch glückt, wenn beide Beine vollständig isolirt sind und durchaus keine andere Verbindung mit einander haben, als durch die Berührung der Nerven auf die vorbeschriebene Weise. Welche Ungleichartigkeit wird hier nun zur Erklärung zu Hülfe genommen werden, wo die blossen Nerven mit einander in Berührung kommen?«

Der Bogen, den Galvani in diesem Falle den Nerven anlegte, war der Nerv des anderen Beines. Er leitete durch ihn wirklich einen electrischen Strom ab zwischen Querschnitt und einem Punkte der Längsoberfläche des Nerven, wodurch die Zuckung erfolgte. Damit war der Sachverhalt angedeutet, der sich nach den Untersuchungen E. du Bois-Reymond's zur Gesetzmässigkeit des Muskel- und Nervenstromes entwickelte.

Volta blieb mit Unrecht auch diesem Experimente gegenüber zweifelnd. Er suchte auch dieses, das er erst als durch den mechanischen Reiz des Auffallens entstanden ausschliessen zu können glaubte, später, als er die Unzulänglichkeit dieser Erklärung einsehen gelernt hatte, aus der Wirkung ähnlicher zufälliger Ungleichartigkeiten der Präparationsmethode entstammend zu erklären, wie sie bei der Anlegung von Metallen als der Grund electrischer Ströme von ihm erkannt worden war.

Nach Galvani's Tode (1798) kam trotzdem, dass sein Neffe Aldini und Alexander von Humboldt die Untersuchungen aufgenommen hatten, die ganze Frage besonders dadurch, dass sich neben so bedeutenden Namen unberufene Hände eingemischt hatten, mehr und mehr in Misscredit, bis 1827 Leopoldo Nobili die electromagnetische Wirkung des Froschstromes an dem electrischen Multiplikator, dem er durch Anwendung der astatischen Doppelnadel einen bis dahin ungeahnten Grad von Empfindlichkeit für den electrischen Strom ertheilt hatte, darthat. Schon Volta hatte gezeigt, dass man den Galvani'schen Grundversuch auch noch in anderer als der von dem Entdecker angegebenen Weise demonstriren könnte. Nobili wiederholte diesen Volta'schen Versuch, in dem ein Galvani'sches Präparat, mit Wirbelsäule und Füssen in je ein Gefäss mit Wasser oder Salzlösung getaucht, zuckt, wenn zwischen den beiden Gefässen mit einem Asbest- oder Baumwollendocht geschlossen wird. Indem er in die Gefässe mit Salzwasser auf ihre Gleichartigkeit geprüfte Platinenden eintauchte, die mit seinem Multiplikator verbunden waren, erhielt er eine Nadelablenkung, die einen Strom von den Füssen nach dem Kopfe oder von den Muskelmassen der Beine zu dem Rückgrate anzeigte.

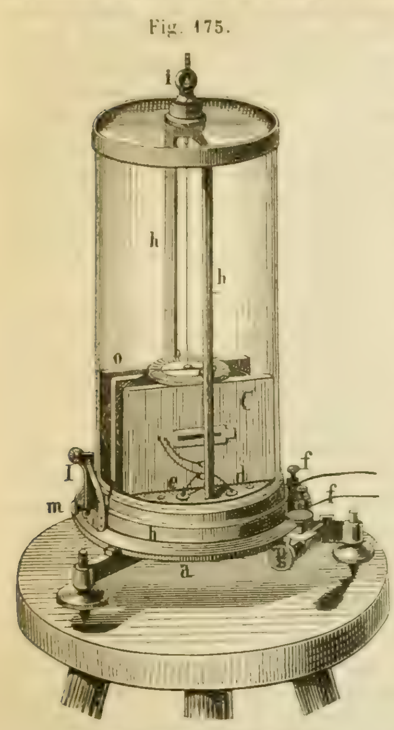
Die Versuche von Matteucci, an welche sich die Entdeckungen du Bois-Reymond's anschliessen, brachten vor Allem den neuen Beweis, dass die Nerven, auf deren Vorhandensein man Werth gelegt hatte, zu dem Entstehen des electrischen Stromes des Gesammtfrosches unnöthig sind, so dass die Stromentwickelung auf den Muskel sich beziehen liess, die Matteucci mit den electrischen Apparaten mancher Fische verglich.

Im Januar 1843 erschien du Bois-Reymond's »Vorläufiger Abriss einer Untersuchung über den Froschstrom und die electromotorischen Fische«, dem im Jahre 1848 der erste Band der »Untersuchungen über thierische Electricität« folgte.

Zur Methode.

Das erste Erforderniss zum Nachweis so zarter electromotorischer Eigenschaften, wie die Ströme der Nerven, sind ausser einem, nach E. du Bois-Reymond's Vorgang gebauten Multiplikator (Fig. 175) mit sehr vielen Windungen — bis 32000 — mit möglichst astatischem Nadelpaare noch gleichartige Electroden, um vor Strömen, aus den Ungleichartigkeiten der Multiplikatorenden entspringend, sicher zu sein. Du Bois-Reymond's unpolarisirbare Electroden, Zinktröge mit concentrirter Zinkvitriollösung gefüllt, entsprechen dem Bedürfniss vollkommen. Sie sind nicht nur leicht galvanisch gleichartig zu erhalten, sie nehmen auch unter der Einwirkung der mit ihrer Hülfe geprüften Electromotore keine Polarisation an, welche, den primären Strömen entgegengesetzt gerichtete Ströme erzeugend, Versuche von solcher Zartheit, wie die in Frage kommenden, wesentlich zu stören, in manchen Fällen sogar zu vereiteln vermögen. Papierbäusche, welche in die Zinkvitriollösung tauchen und sich mit ihr imbibiren —, bedeckt mit feuchten Thonblättchen, die zu dem Zweck mit den Händen aus plastischem, mit 1% Kochsalzlösung getränktem Thone geformt werden, — dienen dazu, die auf ihre electromotorischen Eigenschaften zu prüfenden Gebilde schliesslich mit dem Multiplikator, dessen Drähte in die Zinktröge metallisch eingefügt sind, zu verbinden. In den unpolarisirbaren Electroden hat die Wissenschaft ein Mittel, auch äusserst geringe Ströme für das Auge sichtbar, in ihrer Intensität messbar zu machen.

Fig. 175.



du Bois-Reymond's Multiplikator.

In neuerer Zeit werden neben dem Multiplikator mit astatischem Nadelpaare für thierisch electrische Versuche auch vielfach Multiplikatoren anderer Construction, z. B. Meissner'sche Electrogalvanometer oder die Wiedemann'sche Bussole benutzt, welche beide an Stelle der Nadeln schwerere ringförmige Magneten besitzen, welche durch genäherte Magnetstäbe astatisch oder besser noch aperiodisch (E. du Bois-Reymond) gemacht werden. Bei beiden Instrumenten geschieht die Beobachtung mit Scala und Fernrohr.

Die Multiplikatoren in dieser Weise angewendet haben Manches vor dem früher fast ausschliesslich zum Nachweis der thierischen Electricität benutzten Froschschenkel mit dem dazu gehörigen Ischiadnerven, dem **Froschpräparat**, voraus, welches man nun nicht mehr in der oben angegebenen Weise Galvani's, sondern so herstellt, dass an dem enthäuteten Unterschenkel der Ischiadnerv in seiner ganzen Länge bis zum Wirbelcanal erhalten wird. Der stromprüfende Froschschenkel, das physiologische Rheoskop, ist durch den Multiplikator jedoch durchaus nicht aus der Untersuchung der electrischen Gewebseigenschaften verbannt. Es hat den bemerkenswerthen Vorzug vor dem Multiplikator, dass es plötzliche, plötzlich vorübergehende Schwankungen in der Intensität galvanischer Ströme noch durch eine eintretende Zuckung zur Erscheinung bringt, auf welche die Multiplikatornadel oder der Magnet, durch das ihnen innewohnende Trägheitsmoment verhindert, nicht zu antworten vermögen. Wir werden Gelegenheit finden, mit dem Multiplikator gewonnene Resultate mit dem stromprüfenden Froschschenkel einer näheren Analyse zu unterwerfen.

Die Erscheinungsweise des ruhenden Muskel- und Nervenstroms.

Trennt man nach E. du Bois-Reymond aus einem frischen, parallelfasrigen Muskel ein beliebig dickes oder dünnes Faserbündel und begrenzt dieses an dem einen Ende mit einem senkrecht auf die Faserrichtung geführten Schnitt, einem Querschnitt, legt dann die beiden unpolarisirbaren Electroden eines empfindlichen Multiplikators so an das Muskelstück, dass die eine einen Punkt der Längsoberfläche, die andere einen Punkt des Querschnittes berührt, so erfolgt eine Ablenkung des astatischen Magneten, welche einen electrischen Strom: den starken Strom anzeigt. Derselbe geht in dem ableitenden Bogen — den Electroden, Drähten und dem Multiplikator — vom Längsschnitt des Muskels zum Querschnitte, im Muskel selbst also vom Querschnitt zum Längsschnitt. Es verhält sich der Längsschnitt positiv gegen den Querschnitt.

Man erhält Ströme: schwache Ströme, wenn man zwei zu dem idealen mittelsten Querschnitt des Muskels oder Muskelstücks, dem Aequator, unsymmetrisch gelegene Punkte des Längsschnittes in der angegebenen Weise mit dem Multiplikator verbindet. Die Ströme verlaufen im Muskel von dem dem Querschnitt näher gelegenen Ableitungspunkt zu dem dem Aequator näher gelegenen Ableitungspunkt oder zum Aequator selbst. Auch der (künstliche) Querschnitt zeigt solche schwache Ströme. Zwischen zwei unsymmetrisch zur Axe, d. h. seinem idealen Mittelpunkt, gelegenen Punkten zeigt sich ein Strom, der im Muskel von dem der Axe näher gelegenen Punkt oder der Axe selbst zu dem von der Axe entfernteren (dem Längsschnitt näheren) Punkte verläuft. Dem Querschnitt näher gelegene Punkte verhalten sich electromotorisch sonach zu entfernteren analog wie Punkte des Querschnitts, sonach verhalten sich auch die dem Längsschnitt näheren Punkte des Querschnitts zu entfernter davon gelegenen analog wie Punkte des Längsschnitts, so dass das Gesetz der gesammten Stromentwickelung des Muskels als ein einheitliches erscheint. Ueber Neigungsströme cfr. S. 741.

Der Strom ist im Allgemeinen um so mächtiger, je dicker und länger das Muskelstück ist, von dem man ihn ableitet.

Den starken Strom erhält man auch, wenn man statt des künstlichen Längsschnittes den natürlichen, die natürliche Längsoberfläche des Muskels mit der einen Electrode verbindet. Man braucht also zum Nachweis des gesetzmässig gerichteten Stromes nur an einem unversehrt heraus präparirten Muskel einen Querschnitt anzulegen und Längsoberfläche und Querschnitt mit den Multiplikatorenden zu verbinden. Wie es am Muskel einen natürlichen Längsschnitt gibt, gibt es auch einen natürlichen Querschnitt: die Sehne, von der aus man ebenso wie von dem künstlichen Querschnitt Ströme in gesetzmässiger Richtung erhält. Die Sehne ist negativ gegen die Längsoberfläche ihres Muskels, wirkt aber oft weit schwächer als der künstliche Querschnitt (wegen der parelectromotorischen Schicht cf. unten).

Ganz wie der Muskel verhält sich der Nerv, das Gesetz des Muskelstroms ist auch das Gesetz des Nervenstroms. Die Ströme am künstlichen Querschnitt, die unten zu besprechenden Neigungsströme, ebenso

ein wahrer natürlicher Querschnitt sind beim Nerven jedoch noch nicht nachgewiesen.

Du Bois-Reymond selbst fasst (1848) das Gesetz des Muskelstromes in folgende Sätze zusammen:

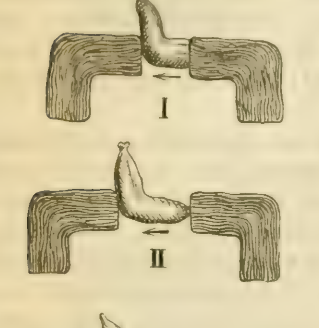
E. du Bois-Reymond's Gesetz des Muskel- und Nervenstromes.

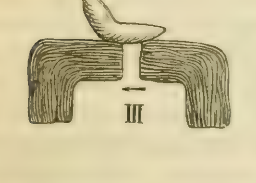
I. Wirksame Anordnungen.

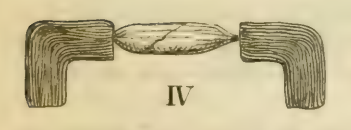
A. Starke Ströme.

Wird ein beliebiger Punkt des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes eines Muskels mit einem gleichfalls beliebigen Punkte des natürlichen oder künstlichen Querschnittes desselben Muskels dergestalt in Verbindung gebracht, dass dadurch keine electrische Spannung gesetzt wird, so zeigt eine in den unwirksamen leitenden Bogen eingeschaltete stromprüfende Vorrichtung gleichwohl einen Strom an, der von dem Punkte des Längsschnittes in dem Bogen zu dem Punkte des Querschnittes gerichtet ist.

Fig. 176.







V

VI

Ableitung des Muskelstromes. I, II, III wirksame Anordnungen; IV, V, VI unwirksame Anordnungen: I Querschnitt und Längsschnitt; II Sehne und Längsschnitt; III zwei vom Aequator verschieden weit abliegende Punkte des Längsschnittes. IV zwei Sehnen (natürliche Querschnitte). V zwei kunstliche Querschnitte. VI zwei symmetrisch zum Aequator gelegene Punkte.

B. Schwache Ströme.

a. Ströme des Querschnitts (am Nerven nicht nachgewiesen).

Wird ferner ein Punkt eines natürlichen oder künstlichen Querschnittes eines Muskels auf die nämliche Weise in Verbindung gebracht mit einem anderen Punkte desselben Querschnittes, oder einem Punkte eines anderen natürlichen oder künstlichen Querschnittes desselben Muskels, den wir als Cylinder denken wollen, und sind beide Punkte von dem Mittelpunkte der Kreise, die die senkrecht auf die Axe des Cylinders gedachten Querschnitte darstellen, ungleich weit entfernt: so zeigt die stromprüfende Vorrichtung abermals einen Strom an, der aber viel schwächer ist als der vorhergehende, und von dem weiter vom Mittelpunkte entfernten Punkte, in dem Bogen, zu dem ihm näher gelegenen gerichtet ist.

b. Ströme des Längsschnittes.

Wird drittens ein dem geometrisch mittleren Querschnitte des Cylinders, den der Muskel vorstellt, näher gelegener Punkt des natürlichen oder kunstlichen Längsschnittes auf die nämliche Weise in Verbindung gebracht mit einem entfernter von jenem Querschnitt gelegenen Punkte des natürlichen oder künstlichen Längsschnittes desselben Muskels: so zeigt die stromprüfende Vorrichtung abermals einen Strom an, der viel schwächer ist als zwischen beliebigen Punkten des natürlichen oder künstlichen Längs- oder Querschnittes, dem zwischen verschiedenen Punkten eines oder zweier natürlichen oder künstlichen Querschnitte aber an Stärke gleichkommt, und von dem dem mittleren Querschnitte näher gelegenen Punkte in dem Bogen zu dem davon entfernteren gerichtet ist.

II. Unwirksame Anordnungen.

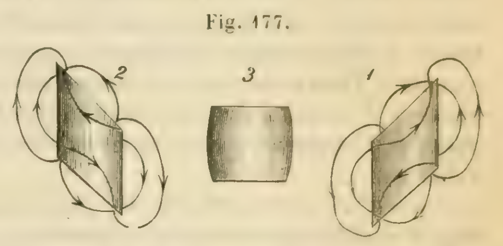
Die stromprüfende Vorrichtung bleibt hingegen in Ruhe, wenn die beiden durch den unwirksamen leitenden Bogen verbundenen Punkte auf einem oder zweien natürlichen oder künstlichen Querschnitten gleichen Abstand vom Mittelpunkte, oder auf dem natürlichen oder künstlichen Längsschnitte gleichen Abstand vom mittleren Querschnitte haben.

III. Neigungsströme.

In den Jahren 1865 und 1866 hat E. du Bois-Reymond noch eine weitere Art der Ströme kennen gelehrt, die Neigungsströme, deren Gesetz er folgendermassen darstellt:

Richtet man einen cylindrischen Muskel durch zwei parallele, schräg gegen die Axe geführte Schnitte so zu, dass die Durchschnittsfigur einer durch die Axe senkrecht zu den Schnitten gelegten Ebene ein Rhombus ist, so entfaltet der Muskel neue electromotorische Eigenschaften. Die Punkte der Muskeloberfläche nahe den beiden stumpfen Rhombusecken verhalten sich nämlich stark positiv gegen die Punkte nahe den beiden spitzen Rhombusecken, gleichviel ob die Punkte dem Längsschnitt oder den schrägen Querschnitten angehören. Der Gegensatz zwischen Längs- und Querschnitt besteht dabei fort, aber wegen der Schräge des letzteren in geringerem Maasse. Ebenso bestehen fort am Längs- und Querschnitt die sogenannten schwachen Ströme vom Aequator nach den Grenzen zwischen Längs- und Querschnitt, von diesen Grenzen nach den Polen. Die Neigungsströme summiren sich algebraisch zu den Strömen vom Längs- zum Querschnitt und zu den schwachen Strömen am Längs- und Querschnitt. Nicht nur die letzteren, sondern wegen ihrer Schwächung in Folge der Neigung des Querschnittes auch die ersteren Ströme unterliegen dabei häufig den Neigungsströmen, so dass der Strom zwischen einem Längsschnittpunkte nahe einer spitzen Rhombusecke und einem Querschnittspunkte nahe einer stumpfen Rhombusecke nicht, wie er nach dem Gesetz des Muskelstromes sollte, ausnahmslos von ersterem zum letzteren Punkte, sondern zuweilen umgekehrt fliesst. Ja, so gross ist die den Neigungsströmen zu Grunde liegende electromotorische Kraft, dass man dieselben sogar über den Strom zwischen Längsschnitt und senkrechtem Querschnitt siegen sieht. Am Gastrocnemius des Frosches (und anderer Thiere) treten wegen seiner schräg über einander gelagerten Muskelbündelansätze an der Sehne natürliche Neigungsströme auf. Ebenso entstehen Neigungsströme, wenn man einen Muskelwürfel rhombisch dehnt (Fig. 177).

Fig. 177.



1, 2 Darstellung der Neigungsströme. 3 Muskelwürfel, der durch Dehnung zum Rhombus werden kann.

Die electromotorische Kraft der starken Muskelströme beträgt beim Froschmuskel 0,08 Daniell, die Kraft der Neigungsströme steigt über 0,1 Daniell.

Die electromotorische Kraft der Nerven und Muskeln ist abhängig von der Eigentemperatur dieser Organe. Nach J. Steiner steigt die electromotorische Kraft des Nervenstroms bei sehr allmähligem Erwärmen von 2° C. aufsteigend bis zu 14—25° C., wo sie mit etwa 11% Erhöhung ihr Maximum erreicht, darüber hinaus nimmt sie wieder ab. Für den Muskelstrom des Frosches beträgt die Steigerung etwa 25% der anfänglichen electromotorischen Kraft, bei 35—40° also der Grenze seiner Wärmestarre sehr nahe liegend. Bei rascher Erwärmung nimmt die electromotorische Kraft in beiden Organen stets sofort ab.

Der electrische Strom gehört zu den wichtigsten Lebenseigenschaften des Muskels und Nerven. Er ist nur dem lebenden.

leistungsfähigen Muskel eigen. Nach dem Tode des Thieres nimmt die Stärke der Ströme seiner Muskeln nach und nach ab, und diese erlöschen endlich, wenn sich die Todtenstarre des Muskels vollkommen ausgebildet hat. Eine merkwürdige Erscheinung zeigt der Strom noch oft vor seinem gänzlichen Erlöschen: eine Umkehr der Stromesrichtung, so dass sich der Längsschnitt des Muskels nun negativ gegen den Querschnitt verhält. du Bois-Reymond hat den wesentlichen Zusammenhang des Muskelstromes mit den übrigen Lebenseigenschaften des Muskels noch durch eine Reihe anderweitiger Thatsachen erhärtet: Alles Uebrige gleich gesetzt, ist der Strom um so stärker, je leistungsfähiger der Muskel ist. Er erlischt bei Säugethieren viel früher als bei Fröschen, bei den Vögeln noch früher als bei ersteren. Es erklärt sich dieses aus dem früheren oder späteren Auftreten der Todtenstarre. Daher erlischt er auch nach Strychninvergiftung, nach welcher Brücke achtmal früher als bei anderen Todesarten die Todtenstarre eintreten sah, weit eher als nach anderen den Muskel nicht wesentlich alterirenden Arten der Tödtung. Durch Verbluten oder Erstickung, durch Vergiftung mit Schwefelwasserstoff getödtete Thiere zeigen schwächere Muskelströme als gesunde. Anhaltende electrische Reizung des ausgeschnittenen Muskels, die dessen Leistungsfähigkeit auch im Uebrigen rasch vernichtet, hat auch denselben Erfolg auf den Muskelstrom.

Der Strom zwischen Quer- und Längsschnitt des Muskels ist stark genug, Erregung eines angelegten Nerven zu erzeugen, durch passende Schliessung genügt der Muskelstrom auch, um den eigenen Muskel zur Zuckung zu bringen, wie Hering in einem eleganten Versuche demonstrirte. Der Nervenstrom wurde zwischen Quer- und Längsschnitt in derselben Weise schon von Galvani zur Hervorrufung von Muskelzuckungen benützt (S. 737); sehr gut gelingt dieser Versuch der Erregung eines angelegten Nerven durch den ruhenden Nervenstrom eines anderen Nerven, wenn ein Froschnerv mit Muskel an Quer- und Längsschnitt des stark electromotorisch wirkenden Hechtolfactorius angelegt wird. (Kühne, Steiner.)

Negative Schwankung des Muskel- und Nervenstroms und die Leitungsgeschwindigkeit der Erregung.

Wir haben in vorausgegangenen Betrachtungen den Muskelstrom als einen Beweis dafür erkannt, dass in dem ruhenden motorischen Organe schon beständig Kräfteentwickelungen vor sich gehen, die in ihrem letzten Grunde auf organischen Oxydationsvorgängen beruhen. Der arbeitende Muskel zeigt auch in letzterer Beziehung Verschiedenheiten von dem ruhenden, von dem er sich so wesentlich in seiner Kräftevertheilung unterscheidet.

E. du Bois-Reymond hat bewiesen, dass sich das electromotorische Verhalten des Muskels und der Nerven während ihrer Thätigkeit wesentlich verschieden verhält von dem in ihrem ruhenden Zustand zu beobachtenden.

Die thätigen Muskeln und Nerven zeigen **eine Abnahme: die negative Schwankung** ihres am Multiplikator ableitbaren electrischen Stromes.

Liegt der Muskel mit Quer- und Längsschnitt auf den Bäuschen der unpolarisirbaren Electroden des Multiplikators, so wird, wie wir gesehen haben, die Magnetnadel durch den Muskelstrom abgelenkt. In dem Augenblicke, in welchem der Muskel vom Nerven aus irgendwie durch physiologischen, chemischen, mechanischen oder electrischen etc. Reiz in tetanische Zusammenziehung gebracht wird, schwingt die Nadel zurück, durch den Nullpunkt hindurch und zeigt meist einen beträchtlichen Ausschlag in den entgegengesetzten Quadranten der Theilung, auf welcher die Nadel spielt.

Neuerdings unterscheidet E. du Bois-Reymond zwischen der negativen Stromschwankung, d. h. Veränderung des im Ableitungsbogen beobachteten Stromes und einer electrischen Kraftschwankung des gereizten Muskels. Unter letzterer versteht er die die negative Stromschwankung verursachende Aenderung in der electromotorischen Kraft- oder Spannungsdifferenz der zur Stromableitung benützten Punkte am Muskel und Nerven. Die grössten Werthe für die Kraftschwankung am längsfaserigen Muskel während des Tetanus betrug nach seinen Messungen 0,4 des ruhenden Stromes. Relativ viel stärker, aber absolut kleiner findet er die negative Schwankung, wenn der Strom vom natürlichen Querschnitt, d. h. von der Sehne abgeleitet wird. Künstliche Muskelrhomben, aus einem parallelfaserigen Muskel hergestellt, zeigen die negative Schwankung in normaler Weise.

Die negative Stromschwankung ist am Multiplikator nur für die tetanische Erregung des Muskels nachzuweisen. Es war sehr wichtig, zu erfahren, ob ebenso wie der Tetanus auch die einfache Zuckung mit einer negativen Stromschwankung verbunden sei. Es reicht zu dieser Entscheidung Nadel oder Magnet des Multiplikators nicht aus, ihrer bedeutenden Trägheit wegen, die sie verhindert, auf momentane Stromschwankungen zu antworten. Hier tritt das physiologische Rheoskop, der stromprüfende Froschschenkel, als Instrument ein.

Legt man an Quer- und Längsschnitt eines Muskels einen Nerven eines stromprüfenden Schenkels an, so zuckt letzterer in dem Momente, in welchem der erste Muskel zur einfachen Zuckung gereizt wird: secundäre Zuckung vom Muskel aus, zum Beweise, dass auch bei der einfachen Zuckung eine Veränderung in der Intensität seines Stromes wie bei dem Tetanus erfolgt. Reizt man den Muskel zum Tetanus, während der stromprüfende Schenkel in der oben angegebenen Weise anliegt, so verfällt letzterer in Tetanus: secundärer Tetanus. Der Tetanus tritt, wie bekannt, nur dann ein, wenn rasch auf einander folgende Reize, z. B. rasch auf einander folgende Intensitätsschwankungen eines electrischen Stromes auf Muskel oder Nerv einwirken. So ergibt sich also aus diesem Versuche, dass die scheinbar einfache, lineare Abnahme der Stromstärke bei dem Tetanus, wie sie sich am Multiplikator als negative Schwankung zeigt, zusammengesetzt ist aus vielen rasch auf einander folgenden Stromschwankungen nach auf- und abwärts, die aber so rasch erfolgen, dass der Multiplikator auf jede einzelne nicht zu antworten vermag, und darum nur ihre Resultirende als eine fortschreitende Abnahme aufzeichnet. Der Tetanus des Muskels besteht also aus einzelnen Zuckungen, deren jeder eine negative Schwankung von sehr kurzer Zeitdauer entspricht.

So war es denn durch du Bois-Reymond erwiesen, was die Wissenschaft so

lange vergeblich gesucht hatte, dass die Krafterzeugung im Muskel auf das innigste an electrische Vorgänge geknüpft ist.

Doch wie ganz anders hatte sich die Sache gestaltet, als man erwartet hatte! Es schien nahe zu liegen, dass die electrischen Ströme, die man im Organismus voraussetzte, in dem Gehirne entständen, von dem man die Willensantriebe durch die Nerven den Muskeln mitgetheilt sah, mit einer Schnelligkeit, wie man sie allein der Electricitätsfortpflanzung zuschreiben zu können glaubte. Diese Mittheilung schien in der Weise zu erfolgen, wie die Bewegungen in dem Telegraphenapparat. Im Gehirne hatte man sich eine galvanische Batterie gedacht, die ihre Ströme durch die Nerven als die Leiter der Electricität dem Muskel — dem Schreibapparate analog — zusendet.

Durch die Entdeckung, dass die Muskeln selbst Electromotoren seien, war allen derartigen Theorien die Spitze abgebrochen. Auch die Nerven durfte man sich nicht mehr als einfache Leiter einer Gehirnelectricität denken. Im leistungsfähigen Nerven kreisen, nach dem gleichen Gesetz wie im Muskel, bis zu seinem Absterben die electrischen Ströme. Je leistungsfähiger der Nerv ist, desto grösser ist die Intensität seiner electromotorischen Kraft. Es ist also der Vergleich mit einem leitenden Drahte und dem Nerven schon dadurch zurückzuweisen, dass man ein eigenthümliches electromotorisches Verhalten an letzterem gefunden hatte, das nicht zu dem Wesen des ersteren gehört.

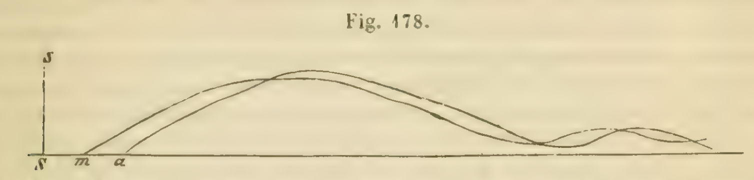
Auch das lang geträumte bessere electrische Leitungsvermögen der Nerven gegenüber den anderen thierischen Geweben stellte sich als eine Täuschung heraus. Die feuchten Gewebe, mit Ausnahme der Knochen, leiten alle etwa gleich gut oder vielmehr gleich schlecht: etwa 3 Millionen Mal schlechter als Quecksilber (J. Ranke). Die vermuthete electrische Isolation des Nerveninnern durch die ölige Markscheide liess sich nicht erweisen. Die Nerven eignen sich nicht zu einfachen Leitern electrischer Ströme im Organismus. Letztere haben keinen Grund, gerade die Nerven als Bahnen zu wählen, sie verbreiten sich nach allen Richtungen ziemlich gleichmässig wegen des fast absolut gleichen Leitungswiderstandes aller animalen Gewebe, von denen nur die Oberhaut des menschlichen Körpers eine Ausnahme macht, indem sie für electrische Ströme der mangelnden Feuchtigkeit wegen beinahe vollkommen undurchgängig ist.

Helmholtz, dem es schon gelungen war, die Muskelzuckung trotz ihres raschen Verlaufes in mehrere Phasen zu zerlegen, gelang es auch, mit Hülfe desselben Instrumentes, das zu jenen Versuchen gedient hatte, mit dem oben beschriebenen Myographion, die **Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven** direct zu messen, die vermöge ihrer scheinbar blitzähnlichen Raschheit vor Allem den Gedanken an vom Gehirn durch die Nerven geleitete electrische Ströme hervorgerufen und erhalten hatte. Indem Helmholtz an zwei Stellen nach einander den Nerven eines an dem Myographion zeichnenden Muskels (cf. S. 701) reizte, bemerkte er, dass die beiden auf dem berussten Glascylinder gezeichneten Curven, die den beiden Reizungen entsprechen, sich nicht deckten, sondern dass die von einem vom Muskel entfernteren Nervenstück aus erregte Zuckung um ein Messbares sich verspätet hatte gegen die von der dem Muskel näheren Nervenstelle aus (Fig. 178). Die graphische Methode erlaubt, wie wir oben angaben, den linearen Abstand des Anfanges beider Curven

direct als Zeit zu messen, der Abstand der beiden gereizten Nervenstellen von einander konnte ebenfalls in einfacher Weise gemessen werden. Damit waren die erforderlichen Daten für die Berechnung der Leitungsgeschwindigkeit im Nerven gegeben.

Die am motorischen Froschnerven beobachteten directen Werthe der Leitungsgeschwindigkeit sind 26—27 Meter in der Secunde; für den motorischen Nerven des lebenden Menschen fanden sie HELMHOLTZ und BAXT nach einer ähn-

Fig. 178.



S S Ort der Reizung des Nerven. *m* Anfang der ersten Curve, Reiz an der ersten Nervenstelle. *a* Anfang der zweiten Curve, Reiz an der entfernteren Nervenstelle.

lichen Methode im Mittel etwa zu 40 Meter. Die Leitungsgeschwindigkeit in den sensiblen Nerven ist etwa die gleiche. Die Electricität pflanzt sich in einer Secunde nach WHEATSTONE's Messungen um 288 000 englische Meilen fort. So ergab auch dieses Experiment deutlich, dass die Erregung im Nerven nicht als eine einfache electrische Leitung in ihm gedacht werden dürfe. Es ist die Leitung der Erregung im Gegensatze zu der aprioristischen Annahme eine verhältnissmässig langsam fortschreitende Molekularbewegung.

Um die vergleichsweise Langsamkeit der Bewegung der Nervenerregung anschaulich zu machen, entnehmen wir DU BOIS-REYMOND folgende Tabelle.

Geschwindigkeit der Bewegung:	Meter in einer Secunde:
der Electricität (WHEATSTONE's)	464 000 000
des Lichtes	300 000 000
des Schalles in Eisen	3 485
– – – Wasser	1 435
– – – Luft	332
einer Sternschnuppe	64 380
der Erde bei ihrer Bewegung um die Sonne	30 800
der Erdoberfläche am Aequator	465
einer Kanonenkugel (S. HAUGHTON)	552
des Windes	1—20
des Adler-Fluges (SIMMLER	35
der Lokomotive	27
der Jagdhunde und Rennpferde	25
der Nervenerregung	26—30
der Hand, einen Stein 24 m 5 hoch werfend	21,9
der Muskelzusammenziehung	0,8—1.2
der Welle des Arterienrohres (Puls)	9,25
des Blutes in der Carotis eines Hundes	0,2—0,3
– – – den Kapillargefässen	0,0006—0,0009
der Theilchen, welche durch Flimmerhaare bewegt werden	0,00007

HELMHOLTZ bestätigte seine Resultate über die Geschwindigkeit der Erregungsleitung im Nerven mittelst POUILLET's Methode, mit Hülfe des electrischen Stroms kleine Zeiten zu

messen. Ein Strom von bestimmter Stärke lenkt die Magnetnadel (den Magneten) einer Bussole, eines Multiplikators, wenn er konstant um dieselbe geleitet wird, um eine bestimmte Winkelgrösse ab. Wirkt aber der gleiche Strom auf die Magnetnadel nur eine sehr kurze Zeit ein, so kann er dieselbe nicht ebenso weit ablenken, als wenn er die volle Zeit zur Entfaltung seiner Wirkung besessen hätte. Kennt man die Schwingungsdauer der verwendeten Magnetnadel und die konstante Ablenkung, welche eingetreten wäre, wenn der verwendete electrische Strom sie dauernd umkreist hätte, so kann man damit und aus der eingetretenen geringeren Ablenkung, welche durch einen sehr kurz dauernden Strom erfolgte, die Zeit berechnen, während der der Strom um die Magnetnadel kreiste. Helmholtz liess für seine Bestimmung der Erregungsleitung den electrischen Strom, der zur Erregung des Nerven und Muskels diente (einen Inductionsschlag), in demselben Augenblick in den Multiplikatorkreis eintreten, in welchem er auf den Nerven einwirkte. Durch die Contraction des Muskels wurde der Multiplikatorkreis geöffnet, so dass der Strom nur so lange um die Magnetnadel kreisen konnte, als die electrische Erregung des Nerven Zeit bedurfte, um die Muskelzuckung hervorzurufen. Reizte Helmholtz an einem vom Muskel entfernteren Punkte den Nerven, so war die Ablenkung der Nadel eine grössere, als wenn der Nerv direct an seiner Eintrittsstelle in den Muskel gereizt wurde. Die Differenz beider, aus den Ablenkungen zu berechnenden, Zeiten, ist gleich der Zeit, welche die Erregungsleitung in der durchflossenen Nervenstrecke von der oberen bis zu der unteren Reizstelle bedurfte.

Für die Fortpflanzung der Erregung im menschlichen sensiblen Nerven hatte früher Helmholtz die Geschwindigkeit ziemlich viel grösser als im Froschnerven angegeben, zu 60 Meter in der Secunde. Schelske, Hirsch, de Jaager fanden sie um die Hälfte kleiner, zu etwa 30 Meter, Kohlrausch dagegen ziemlich viel grösser als Helmholtz, zu etwa 90 Meter in der Secunde. Die Methode der Bestimmung besteht im Allgemeinen darin, dass der Moment der sensiblen Reizung objectiv bezeichnet wird, während der Mensch die subjective Reizempfindung selbst markirt. Die Differenz kann nach verschiedenen Methoden gemessen werden. Die Zeitdifferenz fasst die Zeiten in sich, welche zur Leitung der sensiblen Erregung zum Gehirn, zur Uebertragung derselben auf den motorischen Nerven und zur Leitung in demselben erforderlich sind. Reizt man nun bald an einer dem Centralorgan näher, bald an einer messbar entfernter gelegenen Nervenstrecke = Hautstelle, so lässt die Veränderung der obigen Differenz, bezogen auf die veränderte Nervenlänge, die Leitungsgeschwindigkeit annähernd berechnen. Donders machte auf die Fehlerquellen bei diesen Versuchen aufmerksam. An den motorischen Nerven des Menschen bestimmten Helmholtz und Baxt (S. 745) die Leitung in der Weise, dass sie die Verdickung der Daumenmuskulatur bei der Contraction direct auf das Myographion aufschreiben liessen, indem sie am Arm bald eine entferntere, bald eine nähere Nervenstelle reizten. Sie fanden hiebei, dass stärkere Reize sich rascher fortpflanzen als schwächere.

Pflüger gibt an, dass im Allgemeinen die Erregung von einer vom Muskel entfernteren Nervenstelle aus einen höheren Erfolg hat als von einer ihm näher gelegenen. Er nennt diese Erscheinung: ein lawinenartiges Anschwellen des Reizes und sucht es durch fortschreitende Kraftauslösungen in den einzelnen Nervenmolekülen, wodurch in jedem folgenden eine grössere Kräftesumme frei wird, anschaulich zu machen. Nach H. Munk geschieht die Fortpflanzung der Erregung mit abnehmender Geschwindigkeit.

Es ist für die Leitung der Erregung im Nerven eine unerlässliche Bedingung, dass zwischen dem erregten Punkte und dem Endorgane, in dem der Erfolg der Erregung auftreten soll, der Nerv überall vollkommen intakt ist. Jede Verletzung in seinem Verlaufe, z. B. durch Zerschneiden, auch wenn die Schnittenden wieder mit einander in directe Berührung gebracht sind, oder durch Quetschen, Unterbinden, Brennen, chemisches Zerstören, Anätzen, unterbricht

die Leitung der Erregung vollkommen, obwohl diese Eingriffe die Leitung eines electrischen Stromes nicht oder kaum beeinträchtigen.

Alle das Leistungsvermögen des Nerven verändernden Bedingungen verändern auch sein Leitungsvermögen; das Durchleiten electrischer Ströme durch den Froschnerven in auf- oder absteigender Richtung (v. Bezold), ebenso Kälte und manche andere Einflüsse setzen das Leitungsvermögen des Nerven herab. Helmholtz und Baxt konstatirten, dass die Werthe für die Erregungsleitung der motorischen Nerven des lebenden Menschen in sehr weiten Grenzen schwanken mit der Temperatur der in Frage kommenden Organe. Erwärmten oder erkälteten sie den Arm künstlich, an dem sie experimentirten, so bekamen sie Werthe für die Erregungsleitung, die sich um das Doppelte unterschieden: 36,5 bis 89,5 m in der Secunde. Dasselbe gilt, wie es scheint, auch für die sensiblen Nerven.

Die Erregungsleitung im Nerven ist ziemlich viel schneller als der analoge Vorgang der **Erregungsleitung im Muskel.** Für die Beobachtung mit unbewaffnetem Auge breitet sich, wenn nur eine beschränkte Stelle eines Muskels in den thätigen Zustand versetzt wird, die Contraction scheinbar sofort auf die ganze Länge der betroffenen Fasern aus. In Wahrheit verläuft dieser Vorgang mit einer so geringen Geschwindigkeit, dass man die Contraction in Form einer Welle über den Muskel unter dem Mikroskop hinlaufen sieht (Kühne). Directe Messungen ergaben diese Geschwindigkeit zu 800 bis 1200 mm in der Secunde für Froschmuskeln (Aeby, v. Bezold). Bernstein macht eine etwas grössere Geschwindigkeit zu etwa 3 m in der Secunde wahrscheinlich. Kälte verzögert auch die Erregungsleitung im Muskel.

Der Erregungsvorgang im Nerven ist nach dem Beigebrachten also keine einfache Leitung eines electrischen Stromes. Vollkommen dunkel war dieser Vorgang, der Zustand der Nerventhätigkeit, welchen am Nerven keine Bewegung gröberer oder feinerer Art für das Auge sichtbar macht, bis E. du Bois-Reymond die Entdeckung machte, dass in dem scheinbar vollkommen ruhigen Organe, während er den Muskel oder die Drüse zur Thätigkeit anreizt oder während er Empfindung vermittelt, eine deutliche Veränderung bezüglich einer seiner Hauptlebenseigenschaften, seines electrischen Stromes sich bemerklich macht. Ist schon der Nervenstrom an sich ein nur mit den besten experimentellen Hülfsmitteln nachweisbares Phänomen, so ist die Demonstration der negativen Schwankung des Nervenstromes der zarteste thierisch-electrische Versuch. Das Phänomen ist der negativen Schwankung des Muskelstromes während seiner Thätigkeit vollkommen analog. Während der Nerv Spannkräfte des Muskels auslöst, nehmen seine am Multiplicator wahrnehmbaren electromotorischen Wirkungen ab. Die negative Schwankung des Nervenstromes ist vollkommen rein nur bei Reizung des Nerven auf nicht electrischem Wege zu erhalten, weil sich bei electrischer Reizung stets secundäre Einflüsse der electrischen Ströme auf den gereizten Nerven (Electrotonus S. 753) geltend machen (J. Ranke), trotzdem gelingt die Demonstration der Abnahme der electromotorischen Wirkungen wenigstens bei lebensfrischen Nerven mit Hülfe tetanisirender electrischer Reizung, sicher mit dem Inductionsapparate — dem du Bois-Reymond'schen Schlitten-Magnetelectromotor. — Die Fähigkeit, die negative Stromschwankung zu zeigen, ist eine der wichtigsten Lebenseigenschaften

des Nerven. Der Nervenstrom selbst ist an das Leben des Nerven gebunden. Sowie der Nerv in seiner Hauptlebenseigenschaft, in der Fähigkeit Zuckungen des Muskels oder Empfindungen zu erregen, herabgesetzt ist, so nimmt ganz im Verhältnisse dieser Herabsetzung der Nervenstrom ab, um mit dem vollkommen eingetretenen Tode des Nerven vollständig zu verschwinden. Noch eher als der Nervenstrom selbst verschwindet seine negative Schwankung; nachdem er sie einige Male auf tetanisirende Reizung gezeigt hat, wobei sie zuerst etwas an Stärke ansteigt, nimmt sie immer mehr und mehr ab, endlich verschwindet sie ganz.

Bernstein hat messende Versuche über den zeitlichen Verlauf der negativen Stromschwankung zunächst im Nerven angestellt. Es ergab sich, dass an der gereizten Nervenstrecke die negative Stromschwankung unmessbar kurze Zeit nach dem Reiz beginnt, mit grosser Geschwindigkeit zu ihrem Maximum ansteigt und dann langsamer wieder absinkt. Gleichzeitig pflanzt sich aber die negative Stromschwankung von der gereizten Stelle aus fort und zwar mit einer gemessenen Geschwindigkeit von 28 m in der Secunde, ein Werth, welcher mit dem von Helmholtz für die Fortpflanzung der Erregung (26—27 m) im Nerven gut übereinstimmt und dadurch den innigen Zusammenhang beider Erscheinungen weiter erhärtet. Bei dieser Fortpflanzung der negativen Stromschwankung im Nerven gibt es stets Punkte, welche sich gleichzeitig in den verschiedenen Phasen der Erregung — Minimum und Maximum der negativen Stromschwankung — befinden. Ueber die gleichzeitig in Erregung befindliche Nervenstrecke läuft nach Bernstein's Bezeichnung die Reizwelle ab, deren Länge = der gleichzeitig in Erregung begriffenen Nervenstrecke, er im Mittel zu 18,76 mm bestimmte. Ganz analog ist das Verhalten der negativen Stromschwankung des Muskels. Sie fällt ganz in das Stadium der »latenten Reizung« und geht sonach dem Zustande der wirklichen Erregung, der Contraction, voraus. Die negative Stromschwankung verläuft auch im Muskel annähernd mit derselben Geschwindigkeit wie die Fortpflanzung der Erregung. Der Muskel erleidet daher zuerst die electrische Veränderung, ehe er sich verkürzt.

F. Holmgren hat neuerdings gefunden, dass auch der electrische Strom der Retina und des Sehnerven bei warmblütigen Thieren auf Lichtreiz eine negative Stromschwankung zeigt, ein Phänomen, das schon E. du Bois-Reymond gesucht hatte. Unwirksam sollen die ultrarothen Strahlen sein, am stärksten wirksam die Strahlen aus der Mitte des Spectrums, und noch merkbar wirksam die ultravioletten. Beim Frosch soll die Reizung der Retina mit einer positiven Schwankung (?) des Retinastroms verbunden sein, an Fischaugen konnte er keine Stromschwankung auffinden. Die Retinaströme selbst sollen ganz mit dem Gesetze des Muskel- und Nervenstroms stimmen. Die Netzhaut wird dabei als der natürliche Quer- und Längsschnitt des Opticus angesprochen, ersteren stellen die Stäbchen und Zapfen, letzteren die Nervenfaserausbreitung dar.

Auch bei dem Nervenstrome bemerken wir die schon für den Muskelstrom besprochene Erscheinung, dass er manchmal kurz vor dem Erlöschen seine gesetzmässige Richtung vom Längsschnitt zum Querschnitt im Multiplikatorkreis umkehrt, so dass sich nun der Längsschnitt negativ gegen den Querschnitt zeigt. Es kann diese Stromesumkehr eintreten zu einer Zeit, in welcher die negative Stromschwankung spurweise noch vorhanden ist. Diese hat denn auch ihr Vorzeichen geändert, da der ganze Strom jetzt negativ ist, ist sie positiv im Sinne des ehemaligen normalen Stromes.

Organströme. — Am Rückenmarke, das wie der Nerv selbst seiner Hauptmasse nach als ein Convolut längslaufender Nervenfasern erscheint, ist ebenfalls ein relativ starker electrischer Strom nachzuweisen. Dieser zeigt die gesetzmässige Richtung des Muskel- und Nervenstroms. Im lebenden Thiere ist das Rückenmark von einem starken aufsteigenden Strome durchflossen, dessen wir oben als »Froschstrom« schon gedacht haben, der seine Entstehung der Gesammtwirkung der Muskeln, vor Allem der unteren Extremitäten verdankt; der gleiche

aufsteigende Strom durchfliesst auch die Nerven der unteren Extremitäten. R. Caton gibt regelmassige Gehirnströme bei Säugethieren an, die Oberfläche des Gehirns sei positiv gegen die Vertikalschnittfläche. Derselbe will auch an gewissen Hirnstellen: den motorischen Centren (cf. bei Gehirn), »Stromschwankungen« beobachtet haben, bei bestimmten willkürlichen Gehirnerregungen.

Auch die Haut des Frosches wirkt senkrecht zu ihrer Fläche electromotorisch, der Hautstrom geht von aussen nach innen. Durch Reizung der Hautnerven bei Frosch und Kaninchen wollen L. Hermann und Luchsinger eine Veränderung, eine Schwankung dieses Hautstroms, und zwar entweder eine negative oder häufiger eine positive, gefunden haben, welche sie als Secretionsstrom deuten. Diese Beobachtungen stehen im Widerspruch gegen jene von Röber und Engelmann. Die Hautströme müssen zum ungestörten Nachweis des Froschstromes (= der Summe der Muskelströme) am unenthäuteten Thier eliminirt werden, z. B. durch Aetzung. Die Schwäche der electromotorischen Wirksamkeit, der unenthäuteten Frösche, beruht dabei noch im Wesentlichen auf vorhandenen Nebenschliessungen. Die Lymphe, welche unter der Haut die Muskeln umspült, stellt wie die Haut selbst eine Nebenschliessung zum Gesammtmuskelstrom her, welche das Hereinbrechen des Stroms in den Multiplikatorkreis verhindert (E. du Bois-Reymond, H. Munk). Die menschliche Epidermis besitzt trocken ein sehr geringes Leitungsvermögen, wodurch in Verbindung mit electrischen Hautungleichartigkeiten der Nachweis der Muskelströme am unversehrten Menschen misslingt. Die negative Schwankung des Gesammtmuskelstromes lässt sich dagegen auch am unversehrten Thiere und Menschen nachweisen. Taucht man die Finger oder Zehen beider Extremitäten in die Zuleitungströge resp. deren Zinkvitriollösung, so bleibt die Multiplikatornadel ziemlich in Ruhe, contrahirt man nun aber die Muskeln der einen Extremität — z. B. des einen Arms —, während die andere in Ruhe bleibt, so tritt ein oft sehr starker Strom, aufsteigender Strom, ein. Das ganze Hinterbein des unenthäuteten Frosches zeigt bei der Contraction dagegen einen absteigenden Strom.

Engelmann zeigte, dass die Rachenschleimhaut des Frosches ebenfalls electromotorisch wirksam ist, analog wie die übrige Haut. J. Rosenthal fand regelmässige Drüsenströme an der Magenschleimhaut auf, die demselben Gesetze folgen. An den unregelmässiger gebauten Drüsen, Leber etc., sind bisher keine konstanten electromotorischen Wirkungen beobachtet.

Du Bois-Reymond's Theorie der thierischen Electricitätsentwickelung.

E. du Bois-Reymond stellte eine physikalische Theorie für die Stromentwickelung im Nerven und Muskel auf. Die Hauptströme (starken Ströme) lassen sich wie vom Muskel und Nerven erhalten von einem an beiden Enden überkupferten Zinkcylinder: auch an einem solchen gehen sie vom Querschnitt zum Längsschnitte. Die Nebenströme (schwachen Ströme) kommen erst dann auch zur Erscheinung, wenn das Schema in eine leitende Flüssigkeit eingelegt wird (Fig. 179), und an diese, nicht direct an die Metalle selbst, die Electroden angelegt werden. Die sich beständig in der leitenden Flüssigkeit abgleichenden electrischen Spannungen sind dann am stärksten am Aequator und an der Axe des Schemas; gegen Aequator und Axe unsymmetrisch gelegene Punkte haben verschiedene Grade der Spannung, sie zeigen also gegen einander Ströme und zwar weit schwächere als die Hauptströme. Der Strom, welchen der Multiplikator anzeigt, ist, da der Multiplikator an die leitende Flüssigkeit, nicht an den Electromotor selbst, angelegt ist, ein Zweigstrom, dessen Intensität nicht direct von der Stärke des electrischen Vorganges, sondern von dem geringeren oder grösseren Leitungswiderstand im ableitenden Bogen, zu dem der Multiplikator gehört, abhängig ist.

Auch im Muskel und Nerven nimmt E. du Bois-Reymond den eigentlich electromotorisch wirksamen Theil eingelagert an in eine leitende Flüssigkeit. Die Ströme, welche die electromotorisch wirksamen Organe entwickeln, sind wie in dem eben beschriebenen Schema

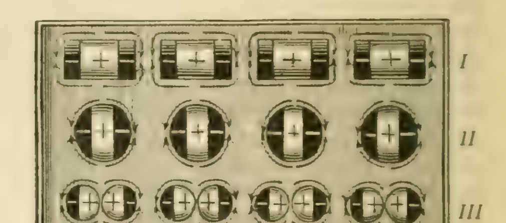
Zweigströme, die an sich direct keinen Schluss auf die Stärke der in den untersuchten Organen selbst stattfindenden Strömungsvorgänge gestatten. Letztere können trotz der Schwäche der nach aussen sichtbar werdenden electromotorischen Eigenschaften doch sehr stark sein.

In der gegebenen Form reicht das Schema nur aus für die Erklärung des electromotorischen Verhaltens des Gesammtnerven und Gesammtmuskels. Beide lassen, in die kleinsten noch von Querschnitt und Längsschnitt begrenzten Stückchen zerspalten, den Strom noch in der gesetzmässigen Richtung wahrnehmen. Die electromotorischen Kräfte mussten daher auf sehr kleine Organtheilchen, auf Moleküle, bezogen werden, welche regelmässig reihenweise gelagert, in die leitende Flüssigkeit eingebettet sind. DU BOIS-REYMOND bildet diese electromotorischen Organmoleküle analog dem Gesammtschema nach durch kleine an den Enden überkupferte Zinkcylinderchen, oder kleine Kugeln mit einer Zinkmittel- und zwei Kupferrandzonen: peripolare Moleküle, in der geforderten regelmässigen Anordnung in eine

Fig. 179.

L Längsschnitt. *Q* Querschnitt. *a b* Aequator. Die Pfeile geben die Stromrichtung an, die Dicke ihrer Linien die Stärke der electrischen Ströme zwischen den verbundenen Punkten. Die getüpfelten Bogen: unwirksame Anordnungen.

Fig. 180.



Electrische Moleküle des Muskels und Nerven. In der ersten und zweiten Reihe peripolare, in der dritten dipolare, aber peripolar angeordnete Muskeln.

leitende Flüssigkeit eingebettet (Fig. 180 *I, II*). Man kann sich jedes der peripolaren Moleküle noch weiter getheilt denken in je zwei halb aus Zink, halb aus Kupfer bestehend: dipolare Moleküle, die in dem electromotorischen Organschema zur Erläuterung der bisher besprochenen electromotorischen Erscheinungen zunächst so zu einander stehen, dass das erste seine Kupferseite nach aussen kehrt, die Zinkseite des zweiten ist gegen die Zinkseite des ersten gerichtet, die Kupferseite des dritten gegen dieselbe des zweiten, so dass je zwei solcher Moleküle zusammen eines der zuerst geschilderten mit zwei kupfernen Polar- und einer Zinkmittelzone darstellen: peripolar angeordnete dipolare Moleküle (Fig. 180 *III*).

Die Anschauung (Fig. 180) ergibt, wie mit Hülfe dieses Schemas die uns bisher bekannt gewordenen electrischen Phänomene sich erklären lassen. Um den Vorgang der Stromumkehr während des Absterbens anschaulich zu machen, hat man sich eine Drehung der electrischen Moleküle um 180° zu denken, wodurch die electrischen Gegensätze vollkommen umgekehrt werden. Die peripolare Anordnung der dipolaren Moleküle bleibt auch nach dieser Drehung noch bestehen. Bei der negativen Schwankung ist die Axendrehung der Moleküle keine vollkommene, sie nehmen eine mittlere Stellung zwischen der vollkommenen Drehung und ihrer normalen Ruhelage ein. Im Uebrigen gilt das Gleiche wie bei der Stromumkehr. Das Schema reicht auch für die Erklärung der Neigungsströme aus. Auf den schief abgestutzten Muskelflächen bilden die Moleküle staffelförmige Reihen, woraus sich z. B. aus der gleichzeitigen Anwesenheit einer Querschnitts- und einer Längsschnittspartie an jeder solchen Staffel) die Schwächung der electromotorischen Eigenschaften des schiefen Querschnittes gegen den geraden ergibt.

Die Ströme zwischen natürlichem Längsschnitt und natürlichem Querschnitt des Muskels — seiner Sehne — zeigen sich oft, namentlich im Winter, wenn die Frosche, die zu den Versuchen dienen, der Kälte ausgesetzt waren, sehr schwach im Vergleiche mit denen, die sich vom künstlichen Quer- und natürlichen Längsschnitt ableiten lassen: die Muskeln zeigen ein **parelectronomisches Verhalten**. Diese Parelectronomie kann so hoch entwickelt sein, dass man unter diesen Umständen keinen oder sogar einen umgekehrt gerichteten Strom bekommt. Die Ströme erhalten jedoch sofort ihre normale Richtung und Stärke, sowie man die Sehne mit ätzend wirkenden Substanzen: stärkeren Säuren, Alkalien, Salzlösungen, Kreosot bestreicht, oder sie mit heissen Korpern versengt. Du Bois-Reymond erklärt diese von ihm entdeckte Erscheinung daraus, dass sich bei den parelectronomisch wirkenden Muskeln eine an die Sehne angrenzende Schicht von Muskelsubstanz befindet, welche, der oben beschriebenen Stromumkehr entsprechend, entgegengesetzt electromotorisch wirkt, wie der normale Muskelstrom, so dass dessen Wirkungen zum Theil oder ganz compensirt oder sogar übercompensirt werden. Um sich diese »parelectronomische Schicht« theoretisch anschaulich zu machen, genügt es, am Schema des Muskels von jedem letzten System der peripolar angeordneten dipolaren Moleküle das äusserste Molekül wegzulassen, so dass das jetzt letzte seine positive Seite dem Querschnitt zukehrt.

Chemische Theorien der thierischen Electricität.

Du Bois-Reymond's schematische Theorie der electromotorischen Wirkungen der Nerven und Muskeln reicht vollkommen aus zur Erklärung des am Muskel und Nerven in dieser Beziehung Beobachteten. Es drängt sich uns mit Nothwendigkeit der Gedanke auf, dass die Molekulartheorie mehr als eine blosse Hypothese ist. Die electrischen Moleküle du Bois-Reymond's mit zusammengesetztem Bau und gesetzmässiger Stellung werden in den electrisch wirkenden Organen wirklich vorhanden sein. Es werden sich entsprechende, zu Strömen Veranlassung gebende electrische Ungleichartigkeiten an kleinsten oder sehr kleinen Organtheilchen auffinden lassen, auf deren Anwesenheit und Veränderung die Verschiedenheiten der Stromentwickelung im ruhenden, arbeitenden und abgestorbenen Organe, in dem der Strom Null geworden ist, beruhen.

E. du Bois-Reymond weist darauf hin, dass man sich die electromotorischen Moleküle als Herde eines besonders lebhaften Stoffwechsels vorstellen könne.

Nach meinen, von Röber vollständig bestätigten Beobachtungen genügt die bei dem Absterben der Muskeln und Nerven, sowie bei ihrer Aktion auftretende Fleischmilchsäure, um die Vernichtung der electromotorischen Wirkung bei dem Absterben, sowie die negative Schwankung und die auf den Tetanus folgende Schwächung der electromotorischen Wirkung zu erklären. Eine geringe Ansäuerung der Nerven- und Muskelsubstanz macht Nerv wie Muskel stromlos, Neutralisation der Säure bringt den Strom zurück. Andere Säuren wirken analog, vor Allem das den Muskel ermüdende saure phosphorsaure Kali.

Ich beobachtete weiter, indem ich den inneren Grund der Carminfärbung erkannte (S. 93 u. a. O.), dass im lebenden Nerven und Muskel, ihrem regelmässigen mikroskopischen Bau entsprechend, regelmässig gelagerte Herde eines besonders lebhaften Stoffwechsels sich finden, welch letzterer sich auch hier durch Bildung einer Säure documentirt. In der Nervenfaser ist der Axencylinder der Säurebildungsherd, im Muskel die Zwischensubstanz, während die doppeltbrechenden Fleischtheilchen wie die ebenfalls aus doppeltbrechender Substanz bestehende Nervenmarkscheide alkalische Reaktion zeigen. Auf diesen regelmässigen chemischen Ungleichartigkeiten beruhen die regelmässigen electromotorischen Wirkungen der Gewebe. In jeder Zelle ist besonders der Kern ein Centralherd der Säurebildung. Regelmässig gelagerte Zellenreihen, wie in der Froschhaut, den Magendrüsen etc. geben daher ebenfalls Anlass zu regelmässigen electromotorischen Wirkungen. Der Grund der negativen Schwankung und der Schwächung der electromotorischen Wirkungen durch die Säuerung

beruht darin, dass dadurch, dass die früher alkalischen Gewebspartien ebenfalls sauer oder wenigstens schwächer alkalisch werden, annähernd eine chemische und dadurch electrische Gleichartigkeit des ganzen Gewebes eintritt. Durch Neutralisation der Säure in den normal alkalischen Gewebspartien stellt sich die normale chemische und damit die electrische Differenz wieder her.

Unsere Anschauung von dem Vorgang der negativen Schwankung ist die, dass auf den normalen Reiz zunächst an der gereizten Stelle eine Steigerung des Stoffwechsels mit Milchsäurebildung erfolgt, dieselbe bewirkt zuerst die negative Schwankung und beim Nerven ein Stadium der erhöhten Erregbarkeit (S. 733), und darauf die wirkliche Erregung. Untersuchungen über Gährung (J. Ranke u. A.) beweisen, dass die Anwesenseit geringer Säuremengen die organischen Stoffwechselvorgänge beschleunigt, von der primär sauren Stelle aus verbreitet sich die Steigerung des Stoffwechsels und damit die Säurebildung in der Nerven- und Muskelfaser weiter, gleichzeitig negative Schwankung, erhöhte Erregbarkeit und Reizung bewirkend.

Du Bois-Reymond fand, dass während der negativen Schwankung des Muskelstromes der Leitungswiderstand der Muskelsubstanz gegen electrische Ströme etwas geringer ist als in der Ruhe, so dass also die Verminderung der electromotorischen Wirkungen auf eine Zeit fällt, in welcher die Widerstände im ableitenden Bogen nicht zu- sondern abgenommen haben. Ich konnte nachweisen, dass der abgestorbene Muskel, der keine electromotorischen Wirkungen mehr zeigt, etwa um das Doppelte besser leitet als der lebende. Es gelang mir, den inneren Grund dieses Vorganges auf chemische Veränderungen im Muskelsafte zurückzuführen. Es ist ebenfalls die Bildung von Milchsäure und von anderen verhältnissmässig gut leitenden Zersetzungsprodukten im Muskel, zum Theil aus schlecht oder vielmehr an sich gar nicht leitenden Stoffen, der Grund für die Zunahme des Leitungsvermögens des Muskels während der Contraction sowohl als während des Absterbens. Diese Beobachtung war insofern nicht unwichtig, weil sie zum ersten Male mit aller Entschiedenheit eine electrische Gewebseigenschaft auf chemische Ursachen zurückführte. —

L. Hermann hat eine Theorie der electromotorischen Gewebs-Wirkungen aufgestellt, nach welcher dieselben erst bei dem Absterben der Gewebe auftreten sollten. Absterbende oder in ihren Lebenseigenschaften geschwächte Gewebssubstanz verhalte sich negativ gegen lebende, resp. lebensstärkere. E. du Bois-Reymond, H. Munk u. A. haben diese Theorie und die Grundlagen, auf denen sie L. Hermann aufgebaut hatte, widerlegt.

II. Der electrische Strom in seinen Einwirkungen auf die Lebenseigenschaften der Gewebe.

Wir haben bisher gefunden, dass der electrische Gewebsstrom in einer innigen Wechselbeziehung stehe mit den Lebenseigenschaften der Gewebe. Wir sahen, wie jede Schwächung der letzteren sich als eine Schwächung der electromotorischen Kraft geltend macht: mit dem Aufhören des Lebens verschwinden die electrischen Wirkungen; während der Thätigkeit der Organe zeigt sich ihr electromotorisches Verhalten wesentlich verändert. Nun tritt uns die wichtige Frage entgegen: was für einen Werth haben diese electrischen Strömungen im Haushalte des Organismus? Ihr Gebundensein an die volle Lebensenergie der Organe weist uns darauf hin, dass sie für den Lebensprocess selbst

von hoher Wichtigkeit sind. Zum Theil wenigstens gelingt es uns, die physiologische Wirksamkeit der Organströme zu verstehen. Der electrische Strom der Muskeln und Nerven übt in den Organen, in denen er kreist, bis zu einem gewissen Grade ähnliche, ja die gleichen Wirkungen aus, wie ein von aussen auf diese Gewebe in gleicher Richtung einwirkender electrischer Strom.

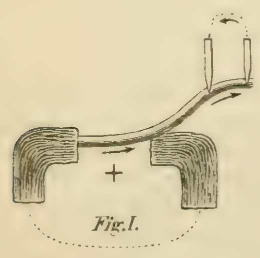
Electrotonus.

Leitet man durch eine Strecke eines Nerven einen konstanten galvanischen Strom (polarisirenden Strom), so wird der Zustand des Nerven seiner ganzen Länge nach, in Beziehung auf sein electromotorisches Verhalten, verändert. E. du Bois-Reymond belegte diese von ihm entdeckte Veränderung mit dem von Faraday für die dem Schliessungsinductionsstrom zu Grunde liegende Veränderung der leitenden Materie zuerst gebrauchten Namen: Electrotonus oder electrotonischer Zustand.

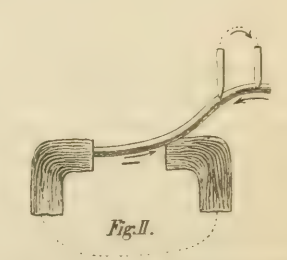
Pflüger entdeckte, dass der electrotonische Nerv neben der Aenderung seines electromotorischen Verhaltens auch eine dem letzteren vollkommen entsprechende Aenderung seiner Erregbarkeit zeige.

E. du Bois-Reymond's Electrotonus. — Der Nerv beginnt, sobald irgend eine Strecke seiner Länge von einem electrischen Strom betroffen wird, sofort auf allen seinen Punkten im Sinne jenes erregenden Stromes electromotorisch

Fig. 181.



I. + Phase des Electrotonus. Anelectrotonus.



II. — Phase des Electrotonus. Katelectrotonus.

zu wirken. Dieser Electrotonusstrom summirt sich algebraisch zu dem Nervenstrom. Der letztere scheint dann gesteigert, wenn Electrotonusstrom und Nervenstrom im Nerven die gleiche Richtung haben, im umgekehrten Falle ist der Nervenstrom scheinbar geschwächt (Fig. 181).

Der veränderte electromotorische Zustand der Nerven an der positiven Electrode = Anode wird als Anelectrotonus, der Strom dieser Nervenstrecke als Anelectrotonusstrom bezeichnet. Umgekehrt spricht man bei der der negativen Electrode = Kathode anliegenden Nervenstrecke von Katelectrotonus und Katelectrotonusstrom.

Der electrotonische Zustand des Nerven ist am stärksten in unmittelbarer Nähe der Electroden des konstanten polarisirenden Stromes und nimmt mit der Entfernung von diesen stetig ab.

Verbindet man den Nerven an symmetrisch zu seinem Aequator gelegenen Punkten mit den unpolisirbaren Multiplikatorelectroden, so kommt der normale Nervenstrom nicht zur Beobachtung (unwirksame Anordnung). Lässt man nun einen electrischen Strom auf den so gelagerten Nerven einwirken, so tritt der Electrotonusstrom rein in Erscheinung. Ist der Nerv von zwei Querschnitten begrenzt, von denen aus, wie wir wissen, in entgegengesetzter Richtung die Nervenströme zum Aequator verlaufen, und die Electroden des zur Erzeugung des Electrotonus verwendeten konstanten Stromes schliessen den Aequator in sich ein, so ist der Electrotonusstrom dem einen der beiden von je einem Querschnitt zum Aequator verlaufenden Nervenströme gleich-, dem andern entgegengesetzt gerichtet, der eine erscheint dann geschwächt, der andere verstärkt. E. du Bois-Reymond bezeichnete früher diese scheinbare Verstärkung des natürlichen Nervenstromes als positive, die scheinbare Schwächung desselben als negative Phase des Electrotonus. Die positive Phase ist aber nur ein Einzelfall des Anelectrotonus, ebenso die negative ein Einzelfall des Katelectrotonus.

Unterbricht man die Einwirkung des konstanten Stroms, so kehrt der Nerv nicht sogleich in sein früheres electromotorisches Verhalten zurück. Den normalen, am Multiplicator ableitbaren Nervenstrom fand ich nach beiden Electrotonusphasen geschwächt. Fick führt diese »Modificationen« des electrischen Verhaltens des Nerven nach Oeffnung des polarisirenden Stroms auf »electrotonische Nachströme« zurück, von denen er zuerst angab, dass sie beide den Electrotonusströmen entgegengesetzt gerichtet seien, was er jetzt nur noch für den Anelectrotonusnachstrom festzuhalten scheint.

Die electromotorische Kraft der Electrotonusströme ist sehr gross, E. du Bois-Reymond fand sie bis zu 0,5 Daniell. Der neue electromotorische Zustand des Nerven im Electrotonus ist aber kein Zustand des Gleichgewichtes. Es zeigt sich, dass vom ersten Augenblick an, wo die Beobachtung möglich ist, der Katelectrotonus sinkt, um sich allmälig einer unteren Grenze zu nähern, der Anelectrotonus hingegen von dem entsprechenden Augenblick an wächst, ein Maximum erreicht und erst dann nach vergleichsweise langer Zeit sinkt.

Der Electrotonus rührt nicht etwa von hereinbrechenden Stromschleifen des konstanten Stromes in den Multiplikatorkreis her. Schneidet man das direct von dem Strome durchflossene Nervenstück ab, während das Nervenstück, von dem man den Nervenstrom ableitet, unverrückt auf den Bäuschen liegen bleibt, und legt nun die Schnittenden wieder fest an einander an, so ist damit die Möglichkeit der Stromschleifen kaum verringert. Es zeigt sich dabei jedoch, dass die Electrotonusphasen verschwinden, zum Beweise, dass diese in einer Wirkung auf die Nervenmoleküle selbst, auf einer Polarisation derselben beruhe.

Diese Erscheinung erklärt sich mit Hülfe der du Bois-Reymond'schen Molekularhypothese. Der polarisirende Strom bewirkt im Electrotonus eine Stellungsveränderung der electrischen Nervenmoleküle. Die peripolare Anordnung der letzteren (Fig. 180 *III*) kann unter seiner Einwirkung in der direct durchflossenen Nervenstrecke nicht fortbestehen, die dipolaren Moleküle werden säulenartig polarisirt, d. h. so gerichtet, dass jedes seinen positiven Pol der negativen Electrode, seinen negativen Pol der positiven Electrode zukehrt, in analoger Weise, wie der Theorie nach bei der Electrolyse die Flüssigkeitsmoleküle gestellt werden. Auch die nicht vom Strome durchflossenen, aber den durchflossenen zunächst benachbarten Moleküle nehmen diese Stellung ein, weil jene auf letztere eine gewisse Richtkraft ausüben, mit ihren positiven Polen die negativen anziehen und umgekehrt. Die Drehung der Moleküle der nicht direct durchflossenen Nervenstrecke ist am vollkommensten in dem angegebenen Sinne, je näher sie an den Polen liegen, mit der Entfernung nimmt die Stellungsveränderung, die Grösse der Drehung immer mehr ab. Die Curve, in welcher die Stärke der Polarisation von den Electroden aus nach den Enden des Nerven zu sinkt, ist, wie du Bois-Reymond vermuthet, E. v. Fleischl experimentell festgestellt hat, gegen den als Abscissenaxe gedachten Nerven stark convex gebogen und schliesst sich ihm in der Ferne asymptotisch an. Hierdurch wird nun im ganzen Nerven eine Veränderung der electromotorischen Wirkung gesetzt im Sinne der Richtung des polarisirenden

Stromes. Der Nervenstrom wird stärker werden, wenn der polarisirende ihm gleich, schwacher, wenn er ihm entgegengesetzt gerichtet ist.

Das innere Wesen des Electrotonus vergleicht E. du Bois-Reymond selbst mit Electrolyse. »Wenn ein Strom auf einen Nerven wirkt, ergeht es letzterem gleich jedem anderen feuchten Leiter. Es wird Electrolyse eingeleitet, welche mit saulenartiger Polarisation beginnt« (cf. unten chemischer Electrotonus S. 757). Grünhagen's von L. Hermann modificirte electrolytische Theorie des Electrotonus, die im Gegensatz gegen du Bois-Reymond's Theorie stand, wurde von E. v. Fleischel u. A. definitiv widerlegt.

Am Muskel zeigen sich solche Veränderungen der Stromstärken je nach der Einwirkungsrichtung des polarisirenden Stromes nicht in der Weise wie am Nerven, so dass wir in der grösseren Leichtigkeit, die Polarisation anzunehmen, einen wesentlichen Unterschied zwischen Muskel und Nerven erkennen. Absolut geht jedoch auch dem Muskel diese Fähigkeit nicht ab. Nur scheint bei ihm die polarisirende Wirkung sich nur in der nächsten Nähe der Pole zu zeigen (A. v. Bezold cf. unten S. 762).

Pflüger's Electrotonus. — Leitet man durch einen Theil eines lebensfrischen Nerven einen konstanten electrischen (polarisirenden) Strom, so wird die Erregbarkeit des Nerven auf seiner ganzen Länge verändert, an der negativen Electrode = Kathode erhöht: Katelectrotonus, an der positiven Electrode = Anode vermindert: Anelectrotonus. Am stärksten ist die electrotonische Aenderung der Erregbarkeit in unmittelbarer Nähe der Electroden selbst, und nimmt mit der Entfernung von denselben zuerst schneller, dann langsamer ab, um sich allmälig der Null zu nähern. Nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes kehrt der Nerv erst durch gewisse »Modificationen der Erregbarkeit« zur Norm zurück. Die anelectrotonische Nervenstrecke zeigt nach Oeffnung des polarisirenden Stromes eine Steigerung ihrer Erregbarkeit: positive Modification, welche allmälig abklingt; die katelectrotonische Strecke zeigt nach der Oeffnung des polarisirenden Stromes zunächst eine Abnahme der Erregbarkeit: negative Modification, die aber bald auch in positive Modification übergeht, welche allmälig abklingt.

In Beziehung auf die Ausbildung und die Inkonstanz der electrotonischen Phasen herrscht zwischen dem E. du Bois-Reymond'schen und Pflüger'schen Electrotonus vollkommene Uebereinstimmung.

Pflüger nennt die von dem polarisirenden Strome unmittelbar durchflossene Strecke die intrapolare, die zu beiden Seiten gelegenen Strecken die extrapolaren. Die Stelle in der intrapolaren Strecke, an welcher die beiden electrotonischen Zustände: Anelectrotonus und Katelectrotonus an einander grenzen, heisst der Indifferenzpunkt. In der intrapolaren Strecke ist die Erregbarkeit ebenso wie in der extrapolaren Strecke in der Nähe der Anode herabgesetzt, in der Nähe der Kathode erhöht, beides am stärksten in unmittelbarer Nähe der Electroden, mit der Entfernung von letzteren nehmen die Erregbarkeitsveränderungen ab und grenzen im Indifferenzpunkt, an welchem die Erregbarkeit nicht verändert ist, zusammen. Bei schwachen Strömen liegt der Indifferenzpunkt näher an der Anode, bei mittelstarken etwa in der Mitte der intrapolaren Strecke, je stärker der Strom wird, desto näher rückt er an die Kathode, die Lage des Indifferenzpunktes erscheint als eine Function der Stromstärke. Die Veränderung der Erregbarkeit der gesammten intrapolaren Strecke ist die algebraische Summe der Veränderungen an den einzelnen Stellen: ihre Erregbarkeit ist im Ganzen erhöht, wenn wie bei schwachen Strömen ein grösserer Abschnitt der intrapolaren Strecke im Zustande des Katelectrotonus begriffen ist, bei starken Strömen aus dem entgegengesetzten Grunde vermindert. Bei mittelstarken Strömen, bei denen der Indifferenzpunkt in der Mitte der intrapolaren Strecke liegt, erscheint die Gesammterregbarkeit derselben unverändert.

Pflüger unterscheidet zwischen aufsteigenden und absteigenden Electrotonusphasen. Im ersteren Fall (aufsteigend) befindet sich der polarisirende Strom zwischen dem Muskel und der Stelle, an welcher die Erregbarkeit des Nerven geprüft wird (Reizstelle), im anderen Fall (absteigend) befindet sich die Reizstelle zwischen polarisirendem Strom und Muskel. Der absteigende Electrotonus zeigt bei allen Stromstärken seine beiden Phasen gleich deutlich. Der aufsteigende Katelectrotonus ist schon bei sehr schwachen Strömen bemerkbar und wächst anfänglich mit der Stärke des polarisirenden Stromes, erreicht aber bei weiterer Stromverstärkung ein Maximum, nimmt dann ab, wird zu Null und endlich negativ, d. h. er geht in eine Verminderung der Erregbarkeit über. Der Grund für diese abweichende Erscheinung liegt darin, dass bei dem aufsteigenden Electrotonus, wo die gesammte electrotonische Nervenstrecke mit ihren beiden Phasen der erhöhten und verminderten Erregbarkeit zwischen Reizstelle (Kathode cf. S. 761) und Muskel liegt, die in ihrer Erregbarkeit übermässig herabgesetzte anelectrotonische Nervenstrecke, die dem Muskel näher liegt, die Durchleitung der Erregung von der katelectrotonischen Strecke aus zuerst in geringerem, dann in stärkerem Maasse verhindert.

Die electrischen Modificationen des Nerven und seine Erregbarkeitsveränderungen im Electrotonus zeigen einen nicht zu verkennenden Zusammenhang. Wir haben schon oben erkannt, dass die Erhöhung der Erregbarkeit des normalen Nerven im Allgemeinen eine Verminderung der Lebenseigenschaften d. h. seiner Leistungsfähigkeit bedeutet, mit der, wie wir sahen, auch eine Verminderung seines electrischen Stromes eintritt; grössere Stärke des electrischen Nervenstromes geht dagegen mit der normalen geringeren Erregbarkeit des Nerven Hand in Hand. Liegt der Aequator des Nerven in der intrapolaren Strecke, so ergibt die Anschauung, dass die auf der algebraischen Summirung des ruhenden Nervenstroms und des Electrotonusstroms beruhende scheinbare Verstärkung des Nervenstromes im Anelectrotonus mit einer Herabsetzung der Erregbarkeit, die auf dem gleichen Verhältnisse beruhende scheinbare Schwächung des Nervenstroms mit einer Erhöhung der Erregbarkeit verknüpft ist: Gesetz des Electrotonus (J. Ranke). Die Lage des Aequators ist bei näherer Betrachtung der hier obwaltenden Stromverhältnisse jedoch keineswegs entscheidend. Es kann sich der Aequator innerhalb der Strecke befinden, von der man den Strom von Längsschnitt und Querschnitt am Multiplikator ableitet, er kann diese Strecke sogar nahezu halbiren, und doch bekommt man einen Hauptstrom, welcher unter allen Umständen im Katelectrotonus scheinbar vermindert, im Anelectrotonus scheinbar erhöht wird. Verbindet man den Nerven mit zum Aequator vollkommen symmetrischen Punkten mit dem Multiplikator, so kann sich an letzterem nur der Electrotonusstrom zeigen, trotzdem ist hier aber natürlich doch durch die säulenförmige Polarisation dieselbe electromotorische Veränderung des Hauptnervenstroms eingetreten, die wir bei anderer Ableitung an demselben Nerven direct sichtbar nachweisen können. Anelectrotonus und Katelectrotonus lassen den Nervenstrom vermindert zurück, dieser Nachwirkung entsprechen die dem Pflüger'schen Electrotonus nachfolgenden Modificationen der Erregbarkeit, welche nach beiden Electrotonusphasen eine Erhöhung der Erregbarkeit bewirken. Ob die von Fick früher angegebene scheinbare Verstärkung des Nervenstroms nach dem Aufhören des Katelectrotonus der rasch vorüber gehenden Verminderung der Erregbarkeit, der negativen Modification Pflüger's entspricht, ist noch festzustellen.

Das von mir aufgestellte »Gesetz des Electrotonus« bestätigen die neuen Beobachtungen Bernstein's auf das Vollkommenste. Indem er den polarisirenden Strom konstant, den reizenden Strom aber nach und nach ansteigen liess, kam er zu folgender Ergänzung des Pflüger'schen Electrotonusschema: Wenn ein constanter Strom durch den Nerven fliesst, so ist am positiven Pol die Auslösung der Erregung erschwert, so dass schwache Reize eine geringere Wirkung ausüben als im normalen Zustande (Anelectrotonus), aber das Maximum der Erregung, welche durch starke reizende Ströme hervorgerufen werden kann, ist grösser. Dagegen ist am negativen Pol die Auslösung der Erregung erleichtert, so dass schwache Reize stärker wirken (Katelectrotonus), aber das Maximum der Erregung, welches durch starke

Reize ausgelöst werden kann, ist k l e i n e r, d. h. der Erhöhung der Erregbarkeit, verbunden mit scheinbarer Verminderung des ruhenden electrischen Nervenstroms im Katelectrotonus, correspondirt, wie wir es zuerst aussprachen (cf. oben), eine Verminderung der Leistungsfähigkeit des Nerven, das Umgekehrte ist nach unserer obigen Darstellung bei dem Anelectrotonus der Fall.

Chemischer Electrotonus. — Wir haben oben S. 755 erwähnt, dass E. DU BOIS-REYMOND das Phänomen des Electrotonus auf Electrolyse der Nerven durch den polarisirenden Strom zurückführt. I c h habe die Nervenelectrolyse und den Einfluss der electrolytischen Produkte des Nerven auf sein electromotorisches Verhalten und seine Erregbarkeit untersucht.

Zu bemerken ist, dass die Erzeugung des Electrotonus auch mit sogenannten unpolarisirenden Electroden gelingt, welche nur eine sehr geringe Polarisation zeigen, doch gelingen sie auch vollkommen mit metallischen Electroden, bei denen die Electrolyse sofort hervortritt. Die Muskeln zeigen die electromotorischen Eigenschaften des Electrotonus nicht, ebenso wenig andere feuchte Leiter oder t o d t e N e r v e n. Wir haben es hier also jedenfalls mit Resultaten der Electrolyse zu thun, welche mit dem lebendigen Bau der Nerven auf das innigste verknüpft sind, und welche unter Umständen auch durch die electrischen Ströme im Organismus selbst physiologisch erfolgen müssen.

Untersucht man einen Nerven, an welchem man den Electrotonus mit metallischen Electroden erzeugt hat, mit Reagenspapier, so zeigt die Anlagerungsstelle der Anode eine saure, die Anlagerungsstelle der Kathode eine verstärkt alkalische Reaktion.

Meine Untersuchungen ergaben, dass von Säuren und Alkalien, so lange sie, wie die Produkte der Electrolyse bei geschlossenem Strom, n u r a u f d e r O b e r f l ä c h e d e s N e r v e n sich befinden, die Alkalien den normalen Nervenstrom scheinbar schwächen = alkalische Reaktion an der Kathode, die Säuren ihn scheinbar etwas erhöhen = saure Reaktion an der Anode. Wenn beide (Alkali und Säure) i n d i e S u b s t a n z d e s N e r v e n e i n d r i n g e n, so folgt bei b e i d e n die, für Säuren schon oben S. 751 erwähnte Verminderung des Nervenstroms.

Ebenso und noch leichter gelingt es mit Hülfe von Säuren und Alkalien, die Phasen der Erregbarkeit im Electrotonus hervorzurufen. Macht man eine kleine Nervenstrecke n u r o b e r f l ä c h l i c h sauer reagirend, was vollkommen leicht und unzweideutig mit Kohlensäure, die man auf den Nerven einwirken lässt, gelingt, so s i n k t an ihr die Erregbarkeit = Verminderung der Erregbarkeit an der Anode, macht man eine minimale Nervenstelle, z. B. durch Kali oberflächlich stärker alkalisch, so zeigt sich die Erregbarkeit nahe gelegener Nervenstrecken ungemein e r h ö h t = Erhöhung der Erregbarkeit an der Kathode.

Nach dem Oeffnen der electrischen Kette haben die Produkte der Electrolyse Gelegenheit in den Nerven einzudringen. Wir wissen, dass die daraus erfolgenden Veränderungen der inneren Nervenreaktion stets mit Erhöhung der Erregbarkeit = Modificationen der Erregbarkeit nach dem Electrotonus verknüpft sind. Jedenfalls ergeben diese Versuche, dass die Produkte der Electrolyse ganz in demselben Sinne die Lebenseigenschaften der Nerven beeinflussen, wie der electrische Strom selbst.

Die Erregungsleitung wird durch b e i d e Electrotonusphasen v e r z ö g e r t (A. v. BEZOLD).

Die negative Schwankung des Nervenstroms im Electrotonus untersuchte BERNSTEIN. Er fand, dass dieselbe stets der gerade im Electrotonus vorhandenen Stromrichtung entgegengesetzt ist; ist die Stromrichtung des Nerven im Katelectrotonus umgekehrt, so tritt die negative Schwankung als eine Abnahme auch dieses Stromes auf. Bei s c h w a c h e n electrischen Strömen fand er den Veränderungen der Erregbarkeit entsprechend in der katelectrotonischen Nervenstrecke die negative Schwankung g e s t e i g e r t, in der anelectrotonischen dagegen v e r m i n d e r t.

Weitere Modificationen der Erregbarkeit durch den konstanten Strom haben HEIDENHAIN, ROSENTHAL u. A. studirt, sie beruhen auf Electrolyse. Jeder konstante Strom, welcher eine Nervenstrecke eine Zeit lang durchströmt, versetzt diese in einen Zustand, in welchem die Oeffnung dieses und der Schluss des entgegengesetzt gerichteten Stromes eine heftige Be-

wegung ausführt. Das Schliessen des Stromes in entgegengesetzter Richtung ist entweder unwirksam oder hemmt eine vorhandene Bewegung den Oeffnungstetanus. Die Muskelerregbarkeit verhält sich ganz analog.

Die electrische Reizung, Zuckungsgesetz.

Wir haben unter den Nervenreizen, die den motorischen Nerven zur Vermittelung der Contraction seines Muskels, den sekretorischen Nerven zur Erregung von Drüsenabsonderung, den sensiblen Nerven zur Erregung von Schmerz veranlassen, vor Allem Intensitätsschwankungen electrischer Ströme erwähnt.

Man hatte früher geglaubt, dass für die Stärke der Erregung des Nerven vor Allem die Stromstärke (Stromdichte) des electrischen Stromes, mit Hülfe dessen man den Nerven reizte, von Einwirkung sein müsse. E. du Bois-Reymond zeigte, dass die Stromdichte an sich für den Erfolg der Reizung relativ unwesentlich sei. Er stellte zunächst für den motorischen Nerven, aber auch für den Muskel das auch für den sekretorischen sensiblen Nerven geltende Gesetz der electrischen Reizung auf:

Die Höhe der Zuckung wird nicht durch den absoluten Werth der Stromdichte sondern durch die Grösse der **Schwankung** der letzteren innerhalb zweier auf einander folgender, sehr kleiner Zeittheilchen bedingt; im Allgemeinen ist die Zuckung um so stärker, je grösser die Schwankung des Stromes in der Zeiteinheit ist.

Erregende Stromschwankungen lassen sich sonach am einfachsten erreichen durch Schliessen oder Oeffnen eines konstanten Stromes, dessen Electroden man dem Nerven (oder Muskel) anlegt, die Stromdichte schwankt dabei von einer bestimmten Höhe zu Null und umgekehrt. Ein Mittel, rasch in ihrer Dichte schwankende electrische Ströme zu erzeugen, sind die Inductionsapparate. Mit Hülfe von geeigneten Instrumenten, z. B. mit dem Schwankungsrheochord du Bois-Reymond's, welches gestattet, ohne den Strom zu öffnen oder zu schliessen, rasch Dichtigkeitsschwankungen desselben zu erzielen, kann man das angegebene Gesetz auch für den geschlossen bleibenden konstanten Strom beweisen.

Donders zeigte am Vagus, dass das Gesetz der Erregung auch für Hemmungsnerven Geltung behält, er construirte, entsprechend der Zuckungscurve des Muskels, eine Curve des Verzögerungsprocesses bei der Vagusreizung.

Doch steht die Nervenerregung auch in einer Abhängigkeit von der electrischen Stromstärke selbst; wir sehen bei der Reizung motorischer Nerven, dass die Muskelzuckung, welche die Nervenerregung hervorruft, wächst von Null Stärke des reizenden electrischen Stroms an bis zu einer bestimmten Höhe desselben, bei der sie ihr Maximum erreicht. Fick und A. B. Meyer geben an, dass kurz andauernde, den Nerven aufsteigend durchfliessende konstante Ströme, ebenso Schliessungsinductionsschläge, bei allmäliger Steigerung ihrer Stromstärke ein erstes Maximum der Zuckung ergeben, dann, nachdem dieses Maximum einige Zeit bei weiterer Steigerung angehalten, bei noch weiterer Steigerung abermals wachsende Zuckungen und ein zweites höheres Zuckungs-Maximum ergeben; die Erklärung dieser auffallenden Beobachtungen ist bis jetzt noch streitig.

Der mittelstarke konstante electrische Strom, so lange er ohne Schwankung seiner Intensität den Nerven durchfliesst, erregt den Nerven nicht. Von diesem Verhalten machen

sehr schwache und sehr starke Ströme eine Ausnahme, welche beide Tetanus, besonders an sehr reizbaren Nerven, hervorrufen. Vor Allem reagirt auf schwache konstante Ströme das Rückenmark mit starkem Tetanus. Auch diese Erscheinung sucht man sich durch electrolytische Wirkung der Ströme zu erklären.

Nach Fick darf die Dauer der Einwirkung des konstanten Stromes auf den Nerven unter einen bestimmten unteren Grenzwerth (0,001 Sec.) nicht sinken, damit der Strom seine volle erregende Wirkung auf den Nerven entfalte. Nach den Angaben E. du Bois-Reymond's nimmt man an, dass der Uebergang des Nerven in den erregten Zustand und aus diesem in den ruhenden zurück momentan erfolgt: »die Nervenmoleküle besitzen ein unendlich kleines Trägheitsmoment«.

Die Stromschwankungen erregen den Nerven dann am stärksten, wenn sie ihn der Länge nach durchfliessen, ihre Wirksamkeit ist sehr gering oder bleibt bei geringer Stromintensität ganz aus, wenn sie in der Querrichtung den Nerven durchsetzen.

In der nächsten Nähe von künstlich angelegten Querschnitten von Nervenästen zeigt sich für einige Zeit nach der Anlegung des Querschnitts die Erregbarkeit des ausgeschnittenen Nervenstammes erhöht. Munk fand solche »ausgezeichnete Stellen« mit höherer Erregbarkeit am ausgeschnittenen Ischiadicus des Frosches, an den Abgangsstellen der Oberschenkeläste und an der Theilungsstelle des Nerven. Die betreffenden Erscheinungen beruhen, wie ich finde, auf normalem Electrotonus. Der Nervenstrom wird an den ausgezeichneten Stellen an Querschnitten von Nervenästen von dem starken Nervenstrom durchflossen, welcher von dem angelegten Querschnitt des Nervenastes zu dem Längsschnitt seiner Fasern verläuft. Ganz analog wirkt, wie die Ueberlegung und das Experiment zeigt, die Wirkung des Abganges eines Astes vom Nervenstamme selbst ohne Anlegung eines Querschnitts; an solchen Nervenstrecken zeigt sich im normalen unverletzten Organismus Electrotonus, der Electrotonus ist eine Erscheinung des normalen Nervenlebens. (Cf. Electrotonus des Rückenmarks S. 762.)

Eine eigenthümliche Gestalt nimmt die electrische Erregung des Nerven an, wenn sie durch die uns im vorhergehenden Capitel bekannt gewordenen Schwankungen der electromotorischen Verhältnisse der thierischen Gewebe: Muskel und Nerv erfolgt. Man kennt eine Nervenerregung (Zuckung) vom Muskel und vom Nerven aus. Beide Phänomene sind nicht identisch, wie E. du Bois-Reymond gezeigt hat.

Die secundäre Zuckung vom Muskel aus erfolgt dann, wenn wir an einen Muskel einen Nerven eines anderen Nervenmuskelpräparates anlegen und nun den ersten Muskel von seinem Nerven aus zur Zuckung erregen. Es entsteht, wie wir wissen, bei jeder Muskelzuckung eine negative Schwankung des electrischen Muskelstromes, es wird durch eine solche der angelegte Nerv erregt und dadurch der zweite, secundäre Muskel auch zur Zuckung gebracht. Dieser Versuch gelingt sicher, doch machte Kühne wieder auf die Unfähigkeit des Muskelstroms aufmerksam, die zwischen den Muskeln in situ verlaufenden normalen Nerven secundär zu erregen. Das Verhältniss erinnert in gewissem Sinn an Immunität, im Anschluss an eine bei anderem Anlass geäusserte Vermuthung du Bois-Reymond's nimmt Kühne an, dass normal die Schwankungswellen in den die Nerven berührenden Muskelfasern mit solchen Phasendifferenzen und interferirend verlaufen, dass die Ausgleichung der electrischen Spannung in den letzteren allein geschieht. Dasselbe gilt von jeder Art directer Muskelreizung. — Versetzt man den primären Muskel nicht in eine einfache Zuckung, sondern in Tetanus, so verfällt der secundäre Muskel ebenfalls in Tetanus. Wir gewinnen dadurch einen sehr wichtigen Einblick in **die electromotorischen Verhältnisse des tetanisirten Muskels.** Am Multiplikator sehen wir im Tetanus nur eine einfache negative Schwankung eintreten, es scheint dabei also eine konstante Abnahme des electrischen Muskelstromes zu erfolgen. Der Tetanus vom Muskel aus lehrt dagegen, dass sich die negative Schwankung des Muskelstromes (wie des Nervenstroms) im Tetanus zusammensetzt aus fortwährenden Intensitätsschwankungen des Stromes nach auf- und nach abwärts, wir wissen ja, dass auf diese Weise der Nerv und Muskel electrisch tetanisirt wird. Man hat auch ein-

fache Zuckung vom pulsirenden Herzen aus, durch die negative Schwankung des pulsirenden Herzens beobachtet.

Um die Zuckung vom Nerven aus entstehen zu lassen, hat man ein ausgeschnittenes Nervenstück an einen motorischen Nerven, Ischiadicus des Frosches, der noch mit seinem Muskel verbunden ist, anzulegen. Der Muskel des zweiten Nerven zuckt, wenn man am angelegten Nervenstücke eine nicht zu schwache Kette öffnet oder schliesst. Diese Zuckung fehlt bei anderen als electrischen Reizungsakten, sie entsteht hierbei also nicht durch die schwache, rasch vorübergehende negative Schwankung des Nervenstromes, sondern durch die viel mächtigeren Stromschwankungen, welche dem Electrotonus angehören, von denen E. du Bois-Reymond gezeigt hat, dass sie sich von einem direct polarisirten Nerven auf einen angelegten zweiten Nerven verbreiten können: secundär electrotonischer Zustand. Diese Electrotonusphasen pflanzen sich nach auf- und abwärts im Nerven eine nicht unbeträchtliche Strecke fort. Der Versuch der Zuckung vom Nerven aus wird zum paradoxen Versuche durch folgende Anordnung. Der N. ischiadicus des Frosches theilt sich gegen den Unterschenkel zu in zwei Aeste, die Rr. peronaeus und tibialis. Präparirt man am Nervmuskelpräparate den unten abgeschnittenen Ramus peronaeus möglichst weit von unten nach oben frei, so hat man ein ähnliches Präparat, als ob wir zwei Nerven an einander legten; hier verlaufen die Nervenfasern für beide Nerven zwar, wie wir wissen, getrennt, aber in eine gemeinschaftliche Scheide eingebettet, in demselben Nerven. Reizt man nun den R. peronaeus in der obigen Weise, so zucken alle vom R. tibialis versorgten Muskeln. Es pflanzt sich also der Erregungszustand des motorischen Nerven von der gereizten Stelle aus nicht nur auch nach oben hin fort, was man nicht vermuthet hatte, sondern man findet noch ausserdem, dass der Erregungszustand von einer Nervenfaser auf eine ihr benachbarte übergehen und diese mit erregen kann. Es widerspricht dieser Befund scheinbar einem physiologischen Grundgesetze: dem **Gesetz der isolirten Leitung,** welches lehrt, dass der normale Reizzustand einer Nervenfaser durch einen Nerven hinlauft, ohne sich auf eine andere Nervenfaser zu übertragen (cf. unten Cap. XXII). Nur dadurch wird es ja ermöglicht, dass der vom Gehirne oder von einem anderen Nervencentrum oder Sinnesapparat ausgehende Erregungszustand einer Nervenfaser bestimmte, gesonderte Wirkungen hervorbringt. Wäre diese isolirte Leitung nicht, so würde jede Erregung, welche eine Nervenfaser in einem Nerven (oder im Rückenmarke oder Gehirne) trifft, alle benachbarten Nervenfasern mit erregen, es wäre keine geordnete Thätigkeit des Nerven möglich. E. du Bois-Reymond hat gezeigt, dass dieses Gesetz im electrischen Sinne nicht richtig ist; nicht nur dieser paradoxe Versuch, sondern auch alle electrischen Vorgänge im Nerven (und Muskel) zeigen, dass ein Isolirtbleiben des electrischen Zustandes auf eine Faser nicht stattfindet, wir haben ja in den electrischen Nerven- (und Muskel-) Strömen überall Summeneffecte vor uns. Trotzdem bleibt bei normalen Lebensbedingungen der electrische Vorgang, welchen wir den Erregungszustand des Nerven im lebenden Thiere begleiten sehen, auf die erregte Nervenfaser beschränkt, da das Gesetz der isolirten Leitung für die Erregung der Nerven durch ihre normalen Reize vollkommen gültig ist. Man glaubte früher annehmen zu dürfen, dass das Mark der Nervenfaser eine die Ausbreitung der electrischen Veränderungen von einer Faser auf die andere beschränkende Wirkung besitzt. Die Stoffe des Nervenmarks sollen nach mehrfach geäusserter Meinung ein sehr geringes Leitungsvermögen für Electricität besitzen; diese Annahme vergisst aber, dass es auch marklose Nervenfasern gibt, wahrscheinlicher ist die oben bei der sekundären Zuckung vom Muskel aus angedeutete Erklärung du Bois-Reymond's und Kühne's.

Zuckungsgesetz. — Die Schliessung und Oeffnung eines konstanten Stromes, also positive und negative Schwankungen des erregenden Stromes, reizen den Nerven nicht in gleichem Maasse. Nach Pflüger wird eine Nervenstrecke nur dann erregt, wenn in ihr Katelectrotonus entsteht oder zunimmt, oder Anelectrotonus verschwindet oder abnimmt. Der entstehende Katelectrotonus wirkt stärker als der verschwindende Anelectrotonus.

Die betreffenden Untersuchungen sind an motorischen Nerven gewonnen, seit alter Zeit fasst man daher die hierher gehörigen Erscheinungen als: Zuckungsgesetz zusammen. Erst durch die Pflüger'schen Untersuchungen ist das Gesetz in seinem Wesen erhellt worden. Wir müssen uns daran erinnern, dass dadurch, dass man auf ein mittleres Stuck eines motorischen, noch mit seinem Muskel in Zusammenhang stehenden Nerven einen polarisirenden Strom einwirken lässt, der ganze Nerv in zwei Strecken zerlegt wird, in der einen: in der anelectrotonischen Strecke, herrscht Herabsetzung, in der katelectronischen Erhohung der Erregbarkeit, so lange der Strom fliesst; nach seinem Aufhören entstehen zunächst die entgegengesetzten Modificationen. Da nur der Eintritt der Erhöhung der Erregbarkeit im Nerven als Reiz wirkt (Pflüger), so wird, wenn der electrische Strom den Nerven aufsteigend, vom Muskel dem Rückenmarksende zu, durchströmt, die obere, vom Muskel aus jenseits der intrapolaren Strecke gelegene, Nervenstrecke erregt. Bei absteigendem Strome ist die erregte Stelle umgekehrt dem Muskel näher gelegen. Wird der Strom geöffnet, so wird durch den Eintritt der den Electrotonusphasen entgegengesetzten »Modificationen der Erregbarkeit« (S. 754) bei aufsteigendem Strome die untere, bei absteigendem die obere die erregte sein. Beide Reizursachen, der entstehende Katelectrotonus und der vergehende Anelectrotonus sind an Stärke verschieden, ersterer wirkt bei mittelstarken und starken Strömen heftiger. Bei ganz schwachen Strömen ist sogar der von dem verschwindenden Anelectrotonus ausgeübte Reiz noch nicht stark genug, um den Nerven in den Erregungszustand zu versetzen, während der entstehende Katelectrotonus die Reizung schon hervorbringt; so kommt es, dass bei solchen schwachen Strömen nur die Schliessung sowohl in auf- wie in absteigender Richtung Zuckung hervorruft. Bei mittelstarken Strömen wirken beide ebengenannten Reize, es entsteht sowohl Schliessungs- als Oeffnungszuckung, mag der Strom auf- oder absteigend im Nerven gerichtet sein. Sehr starke Ströme machen die intrapolare Strecke nach Pflüger zur Erregungsleitung auch für einige Zeit, nachdem sie direct zu wirken aufgehört haben, vollkommen unfähig; bei sehr starken Strömen kann also der Reiz nur dann zur Wirksamkeit kommen, wenn er auf die untere, zwischen polarisirendem Strom und Muskel gelegene Nervenstrecke einwirkt: der aufsteigende Strom wirkt daher bei sehr bedeutender Stromstärke als Reiz bei der Oeffnung, der absteigende bei der Schliessung.

Wir haben oben S. 730 das Ritter-Valli'sche Gesetz von der stetigen Erregbarkeitsabnahme der ausgeschnittenen Nerven besprochen, welche nach einer vorausgegangenen Erhöhung der Erregbarkeit am Schnittende vom oberen Ende des Nerven zum unteren fortschreitet. Es beeinflusst diese Veränderung der Erregbarkeit den Nerven in Beziehung auf seine Fähigkeit, auf Stromschwankungen mittelstarker Ströme Zuckungen auszulösen, genau in der gleichen Weise, wie wir das für die verschiedenen Stromstärken eben kennen gelernt haben. Man unterscheidet darnach drei Erregbarkeitsstadien, in denen sich der Nerv mittelstarken Reizen gegenüber genau in der oben angegebenen Weise verhält, so dass z. B. sehr erregbare Nerven nur bei der Schliessung des auf- und bei der Oeffnung des absteigenden Stromes Zuckung erregen etc. Das oben angeführte Zuckungsgesetz gilt daher für die verschiedenen Stromstärken nur für die mittleren Erregbarkeitsgrade der Nerven: für das sogenannte zweite Erregbarkeitsstadium.

Für die experimentelle Demonstration der Erregbarkeitsstadien des ausgeschnittenen Froschnerven gilt als Reiz ein mittelstarker Strom, der also Schliessungs- und Oeffnungszuckung bei Nerven, die sich im zweiten Erregbarkeitsstadium befinden, hervorruft.

Diese Auseinandersetzungen erklären das folgende Schema, in welchem Z = Zuckung, R = Ruhe des Muskels, S = Schliessung, O = Oeffnung des reizenden Stromes bedeutet.

Zuckungsgesetz.

Erregbarkeitsstadium:	Stromstärke:	Aufsteigender Strom:	Absteigender Strom:
I.	Schwach	S—Z O—R	S—Z O—R
II.	Mittelstark	S—Z O—Z	S—Z O—Z
III.	Stark	S—R O—Z	S—Z O—R

War der zur Reizung verwendete Strom sehr stark oder ein mittelstarker Strom lange Zeit im Nerven geschlossen, so tritt an Stelle der Oeffnungszuckung ein Oeffnungstetanus ein (cfr. Modificationen der Erregbarkeit S. 757). Pflüger konnte den Oeffnungstetanus, der sogleich wieder verschwindet, sowie man den polarisirenden Strom wieder schliesst, zum Beweise seines oben dargestellten Satzes über den Ort der Erregung verwerthen. Bei absteigendem Strome ist bei der Oeffnung desselben die obere Nervenstrecke im Zustand des vergehenden Anelectrotonus, schneiden wir diese Nervenstrecke ab durch einen Schnitt zwischen den Electroden des geöffneten Stromes, so hört der Tetanus, da der Grund für sein Zustandekommen wegfällt, sofort auf. Bei aufsteigend gerichtetem Strome ist dieses Experiment selbstverständlich nicht ausführbar; dagegen hat A. Fick gezeigt, dass das Pflüger'sche Zuckungsgesetz m. m. auch für schief den Nerven durchsetzende electrische Ströme Geltung behält.

Donders zeigte, dass für die Wirkung der Hemmungsnerven (Vagus) wie das Gesetz der electrischen Nervenerregung S. 758, so auch das Zuckungsgesetz seine Geltung behält als Hemmungsgesetz. Mit von 0 ab zunehmender Stromstärke kommen die Hemmungswirkungen in folgender Ordnung zum Vorschein: *a.* bei Schliessung des aufsteigenden, *b.* bei Schliessung des absteigenden Stromes, *c.* bei Oeffnung des absteigenden, *d.* bei Oeffnung des aufsteigenden Stromes.

Durch die Untersuchungen von v. Bezold ist es erwiesen, dass das Zuckungsgesetz des Nerven ebenso für den s. v. v. seiner Nerven beraubten Muskel mit Curare vergifteter Frösche seine Geltung hat. Es ist dieses der Hauptbeweis dafür, dass der Muskel auch, freilich in sehr geringem Grade, in den electrotonischen Zustand übergehen kann, da wir ja sehen, dass das Zuckungsgesetz sich lediglich aus jenem erklärt (S. 755).

Electrotonus des Rückenmarks. — Ein dem Electrotonus am Nerven analoger Zustand lässt sich auch am Rückenmark von Fröschen erzeugen durch das Hindurchleiten eines konstanten electrischen Stromes in der Längsrichtung des Organs (die Querrichtung ist, sobald der Strom nicht zu stark ist, wodurch Stromschleifen entstehen, unwirksam), gleichgültig, ob auf- oder absteigend. Unter diesen Umständen werden die electrischen Rückenmarksmoleküle säulenartig polarisirt; sie bilden unter der Einwirkung der electrischen Richtkraft bis zu einem gewissen Grade gewissermassen starre Säulen, wodurch die Moleküle verhindert werden, sich in einer im Winkel auf ihre Polarisationsaxe stehenden Richtung zu bewegen.

Der Effect der Durchleitung des keine Zuckungen erregenden, konstanten Stromes ist nun der, dass das Rückenmark seine Fähigkeit, auf Hautreize Reflexbewegungen auszulösen, vollkommen verliert oder wenigstens bedeutend vermindert zeigt. Sowie der Strom wieder geöffnet ist, kommen entweder momentan oder nach einer Zeit der Nachwirkung die Reflexe zurück (J. Ranke). Es wird uns diese Wirkung des konstanten Stromes verständlich, wenn wir daran denken, dass die Reflexvermittelung auf Querleitung im Rückenmarke beruht. Dieser Erregungsleitung in der Querrichtung, die wir uns als eine Molekularbewegung zu denken haben, steht die oben geschilderte säulenartige Polarisation entgegen, die als Hemmung der Bewegung in der geforderten Richtung wirkt. Der normale electrische Strom der Gewebe äussert eine analoge Wirkung auf die letzteren, wie die in ihren Effecten bisher besprochenen, von aussen her einwirkenden electrischen Ströme. Es nehmen auch unter ihrer Einwirkung die Gewebsmoleküle eine bestimmte Stellung, eine Art Polarisation an, wie durch jene. Die Moleküle werden von den normalen electrischen Gewebsströmen in einer bestimmten Richtung festgehalten werden, es gehört auch hier ein Kraftaufwand dazu, grösser als die Richtkraft, um in ihnen Stellungsveränderungen zu veranlassen. Die Froschstromwirkungen cf. unten.

Einwirkung des konstanten Stroms auf das Gehirn. — Leitet man einen konstanten Strom, dessen Pole in die Ohren (Purkinje) oder noch besser in die Gruben hinter dem Ohrläppchen (Hitzig) angelegt werden, durch den Kopf, so tritt Schwindelempfindung ein. Die äusseren Gegenstände machen in einer dem Gesicht parallelen senkrechten Ebene

Scheinbewegungen am positiven Pol nach aufwärts, am negativen nach abwärts. Nach dem Oeffnen der Kette tritt für längere oder kürzere Zeit Schwindel in der entgegengesetzten Richtung ein (PURKINJE, BRENNER, HITZIG). Bei starken Strömen sah HITZIG bei Schliessung (bewusste) Schwankung des Kopfes oder Körpers nach der Anode, bei Oeffnung in umgekehrter Richtung. Gleichzeitig treten unbewusste, an Nystagmus erinnernde Augenbewegungen ein, aus denen er schliesst, dass bei der Stromrichtung von links nach rechts auf dem linken Auge Theile des Oculomotorius und der Trochlearis, auf dem rechten Auge andere Theile des Oculomotorius und Abducens in eigenthümlicher Art erregt werden und umgekehrt. HITZIG glaubt, dass dieser Erregungszustand der intracraniellen Nerven PFLÜGER-scher Electrotonus sei, von der Stromrichtung im Nerven in analoger Weise wie an den peripheren Nerven bedingt. Ist, wie bei querer Durchleitung, die Stromrichtung in beiden symmetrischen Hirntheilen entgegengesetzt, so erscheint auch die Veränderung in beiden entgegengesetzt und es erfolgen Reizungserscheinungen. Ist die Stromrichtung in beiden Hirntheilen die gleiche — wenn man die eine Electrode auf den Nacken, die andere gabelförmig getheilt auf die beiden Ohrpauken aufsetzt (BRENNER) —, so fehlt der Schwindel und die nervöse Erregbarkeitsänderung bleibt ohne wahrnehmbare Zeichen, indem sie auf beiden Seiten gleichzeitig positiv oder negativ ist. Den Schwindel erklärt HITZIG theils aus den Augenbewegungen, Gesichtsschwindel, theils aus einer directen Beeinflussung des Gleichgewichtsorgans (cf. unten halb cirkelförmige Canäle und Electrotonus der Netzhaut).

Bedeutung des electrischen Stromes für die Nerven und Muskeln. — Unsere Betrachtungsweise gibt uns einige Fingerzeige für die Beurtheilung der bisher betrachteten Verbindung der electrischen Eigenschaften der Gewebe mit ihrer Erregbarkeit.

Im Electrotonus sehen wir den Nerventheil, dessen ableitbarer Strom vermindert ist — die katelectrotonische Strecke = negative Phase des Electrotonus — in dem Zustande erhöhter Erregbarkeit; umgekehrt sehen wir Verminderung der Erregbarkeit in der anelectrotonischen Strecke, in welcher sich der Nervenstrom verstärkt zeigt = positive Phase des Electrotonus. Die Richtkraft, unter deren Einwirkung die Moleküle stehen, nimmt, wie es scheint, mit der Intensitätsveränderung des ableitbaren electrischen Nervenstromes in gleichem Sinne ab und zu. Der Nervenstrom selbst ist demnach als Bewegungshemmung aufzufassen.

Daraus erklärt sich auch die Beobachtung v. BEZOLD's und BERNSTEIN's, dass die negative Schwankung des electrischen Gewebsstromes in die Zeit der latenten Reizung, also vor den Eintritt der Erregung selbst fällt. Es muss die Richtkraft des Nervenstromes zuerst geschwächt werden, ehe es dem Reize gelingt, die Moleküle in die Lagerung zu lenken, welche dem erregten Zustande entspricht.

Wir dürfen darnach weiter schliessen, dass auch sonst bis zu einer gewissen Grenze die Erregbarkeit der electromotorisch wirksamen Gewebe zunimmt mit der Abschwächung ihrer normalen Stromentwickelung; die Hemmung der Bewegung wird geringer werden in Folge aller Ursachen, die den electrischen Muskel- und Nervenstrom schwächen, ohne die Lebenseigenschaften der betreffenden Gewebe zu vernichten. Die praktische Beobachtung rechtfertigt diese Annahme vollkommen. Wir sehen nach dem Abtrennen des Nerven vom Rückenmark als Erscheinung des Absterbens die Erregbarkeit zuerst steigen. Wir sehen im Winter bei Fröschen, wenn vielfältig der Muskelsaft schon des ruhenden Muskels durch Circulationsstörungen sauer ist, wenn die Muskeln sehr wasserreich sind und durch beide Momente die Intensität des Muskel- und Nervenstromes ganz darniederliegt und durch anormal gerichtete, krankhaft verstärkte parelectrotonische Ströme von der Sehne aus noch weiter geschwächt wird, Nerv und Muskel schon auf die kleinsten Reize mit den heftigsten Krampfanfällen antworten; nach vorausgegangenem Tetanus, der den normalen Strom schwächt, sahen wir die Erregbarkeit besonders der Nerven erhöht. So wird es uns auch erklärlich, warum wir bei wässerigen, muskelschwachen Individuen, z. B. bei chlorotischen Frauen so leicht auf verhältnissmässig schwache äussere Reize Krämpfe auftreten sehen.

Der normal starke in der Längsrichtung das Rückenmark durchfliessende eigene elec-

trische Strom polarisirt wie der Froschstrom (S. 737) die Rückenmarksmoleküle. Es bedarf einer durch sensible Reize zugeleiteten negativen Stromschwankung im Rückenmark, um die Reflexquerleitung zu ermöglichen.

Die Nervenstämme, wenigstens die der unteren Extremitäten, sind ebenfalls stets von einem starken aufsteigenden electrischen Strom: dem Froschstrome durchflossen, der ihre Moleküle polarisirt. An der Eintrittsstelle der Nerven in ihren Muskel, an dem natürlichen Nervenquerschnitt, herrscht daher Anelectrotonus, dort ist die Nervenerregbarkeit etwas herabgesetzt. Auch der ausgeschnittene Gastrocnemius des Frosches zeigt einen aufsteigenden Strom, der die Eintrittsstelle seines Nerven polarisirt. Darauf lassen sich z. Th. die Unterschiede der Erregbarkeit an verschiedenen Stellen desselben Nerves Ischiadikus reduciren, welche von Pflüger und Heidenhain an der Eintrittsstelle im Gegensatz gegen höher gelegene Nervenstrecken gefunden wurden. Beide Autoren finden die Erregbarkeit in der Nähe des Nerveneintrittes in den Muskel geringer als an entfernteren Stellen. Nach Heidenhain sinkt die Erregbarkeit vom Muskel weg erst noch etwas, um dann erst zu steigen. Dass die Stärke des Nervenstromes und also noch mehr des Muskelstromes ausreicht, um Polarisation im Nerven zu erzeugen, ist von Pflüger direct erwiesen worden. Er konnte seine Electrotonusphasen erzeugen durch Anlegung eines Nervenquer- und Längsschnittes an den auf seine Erregbarkeit zu prüfenden Nerven. Es erklärt das die Erscheinung der oben (S. 759) erwähnten »ausgezeichneten Nervenstellen« Munk's mit erhöhter Erregbarkeit.

Wir haben den electrischen Strom der Gewebe in vielseitiger Abhängigkeit von chemischen Bedingungen gefunden. Es ist keine Frage, dass er ebenso, wie er von diesen bedingt wird, gleichzeitig bedingend auf die Richtung der chemischen Zersetzungsvorgänge in den betreffenden Geweben einwirkt.

Die electrischen Fische.

Bei Torpedo und Narcine (Zitterrochen), Gymnotus (Zitteraal), Malapterurus (Zitterwels) finden sich in verschiedener Anordnung electrische Organe, nervöse Apparate, die auf Einwirkung willkürlich oder reflectorisch gereizter Nerven zu electrischen Batterien werden, welche, wie eine Volta-sche Säule, kräftige electrische Schläge mehrmals nach einander, aber mit abnehmender Stärke ertheilen können. Im Ruhezustand geht den Organen das geschilderte Vermögen ab, im Zustand der Ermüdung nach mehreren Schlägen ist es nur noch schwach oder spurweise vorhanden. Trotz der morphologischen Verschiedenheit bei den einzelnen Gattungen zeigt sich doch eine gewisse Gleichförmigkeit im Bau der electrischen Organe. Sie setzen sich im Allgemeinen aus einer grossen Zahl von mit bindegewebigen Wandungen umschlossenen Säulen zusammen, welche, meist durch zahlreiche häutige Querplatten, in aufeinander geschichtete Kästchen zerfallen. Jedes Kästchen enthält eine feinkörnige, mit grossen Kernen durchsetzte Nervenendplatte und eine Lage von Gallertgewebe in regelmässig alternirender Folge. Die Nervenendplatten sind die Stätten der Electricitätsentwickelung, die Gallertscheiben werden analog der Anordnung der Volta'schen Säule als feuchte Leiter angesprochen; an der Leitung betheiligt sich auch die Bindegewebshülle der Kästchen, welche als Schutzorgan dient und Nerven und Blutgefässe zuleitet. Jede Querscheidewand nimmt ein reiches Nervennetz auf, dessen Hauptstämme entweder dem Trigeminus und Vagus (Torpedo) oder Spinalnerven entstammen. An einer für alle Säulen desselben Organs gleichen Fläche breiten sich diese Nervennetze aus und bilden die electrische Platte, deren eine die freie Ober-

fläche sich positiv die andere und zwar jene. an welcher die Nerven verschmelzen, negativ electrisch verhält. Bei Malapterurus durchbohren die Nerven die Endplatten und bilden ihre Nervennetze auf der entgegengesetzten Fläche, welche dadurch zur negativ electrischen wird, während jene Fläche, welche der Nerv zuerst erreicht, wo er sich auch, ohne die Platte zu durchbohren, bei den übrigen electrischen Fischen verbreitet, im Gegensatz gegen die sonst beobachteten Verhältnisse zur electropositiven wird. Die electrischen Organe liegen bei den verschiedenen electrischen Fischen an sehr verschiedenen Körperstellen. Beim Zitterrochen vereinigen sich jederseits zahlreiche, relativ kurze Säulchen zu einem flachen, aber breiten Organ unter der Haut zwischen den Kiemensäcken und dem weiten Bogen der Schädelflossenknorpel. Den Säulchen mangeln die Querscheidewände, von unten her treten die Nerven in jedes Kästchen ein, verbreiten sich sammt den Gefässen im Gallertgewebe und gehen von der Bauchseite aus in die Nervenendplatten über, die dorsale Seite des Organs wird dadurch zur positiven, die ventrale zur negativen. Der Zitteraal A. v. Humboldt besitzt an jeder Schwanzseite zwei electrische Organe, aus langgestreckten horizontal liegenden Säulen gebildet. Die Kästchen stehen in senkrechter Anordnung hinter einander, die Nerven treten von der hinteren Fläche ein, die hintere Seite der Endplatten und damit die Schwanzseite des Fisches ist electronegativ. Der Zitterwels Bilharz, du Bois-Reymond zeigt, ausser der oben erwähnten Besonderheit, durch welche sein Schwanzende positiv, sein Kopfende negativ wird Ranzi, noch in mehrfacher Beziehung abweichende Verhältnisse. Die electrischen Organe erstrecken sich längs des Rumpfes unter der Haut, durch eine dünne mediane Scheidewand der Rücken- und Bauchseite abgegrenzt. Die von Bindegewebe umhüllten unregelmässig rhombischen Kästchen ordnen sich nicht zu regelmässigen Säulchen, sondern stehen in alternirenden Reihen. Alle Nervenverzweigungen in den Kästchen gehören einer einzigen colossalen Primitivfaser an, welche zwischen dem zweiten und dritten Spinalnerven entspringt und aus einem colossalen reich verästelten Ganglion hervorgeht.

Im Bau den geschilderten entsprechende Organe der Nilhechte (Mormyrus) und der Stachelrochen scheinen keiner electrischen Wirkungen fähig zu sein, sie werden als pseudo-electrische Organe bezeichnet.

Der Bau der electrischen Organe hat zu Vergleichung dieser mit den Muskeln geführt. Man vergleicht die Kühne'schen Nervenendplatten in den quergestreiften Muskeln morphologisch, und indem man ihnen hypothetisch eine analoge electrische Wirkung zuspricht, mit den Nervenendplatten der electrischen Organe. Die electrischen Endplatten sind im Muskel auf die contractilen Fasern aufgesetzt, die auf Nervenreiz erfolgende electrische Entladung der ersteren bringt die Muskelfasern zur Zuckung. Andererseits erscheint nach dieser Anschauung das electrische Organ als ein Muskel, aus welchem man alle contractile Substanz entfernt und die Endplatten, nur durch eine Schicht electrisch leitenden Gewebes von einander geschieden, zu einer Säule geordnet über einander gelegt hat.

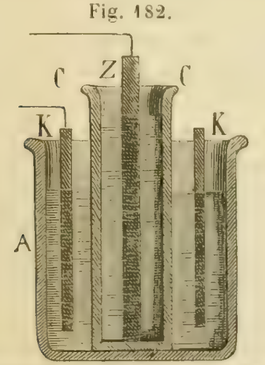
Auffallend ist die Unempfindlichkeit der electrischen Fische gegen ihren eigenen Strom. Während sie Fische und andere ihnen zur Nahrung dienende Thiere mit ihrem electrischen Schlag lähmen, leiden sie selbst nicht, obwohl

der Schlag auch sie durchsetzt (du Bois-Reymond, Boll). Du Bois-Reymond zeigte, dass die electrischen Fische ebenso gegen electrische Schläge, welche er experimentell durch das Wasser, in dem sie sich befanden, leitete und welche andere, in demselben Wasser und Behälter gleichzeitig befindliche Thiere betäubte und tödtete, fast ganz unempfindlich waren. Absolut ist diese Immunität nicht, der electrische Fisch (Torpedo) ist durch äussere Electricität zum Zucken zu bringen, freilich erst durch stärkere Schläge als andere Fische und sonstige Wasserthiere, er zuckt, wenn auch gering, doch wahrnehmbar selbst auf seinen eignen Schlag, er kann durch letzteren Exemplare seiner Species zu schwachen Zuckungen veranlassen (J. Steiner).

III. Medicinisch-electrische Apparate und Versuche.

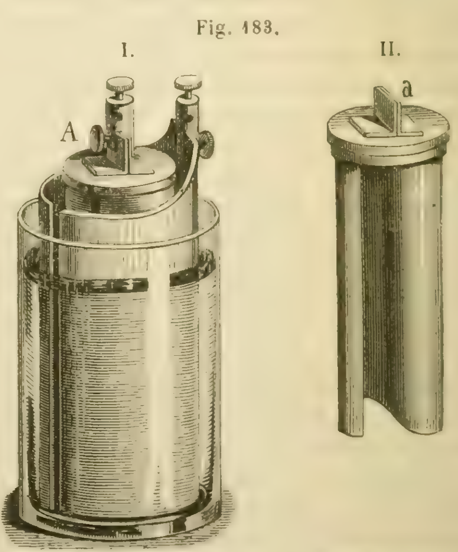
Konstante electrische Ketten. — Als konstante Ketten wendet man vorzugsweise drei an: die Daniell'sche, die Grove'sche und die Bunsen'sche.

Fig. 182.



Daniell'sches Element auf dem Durchschnitt. *A* Glasgefäss, in welchem in Kupfervitriollösung das cylindrisch gebogene Kupferblech *K* steht. *C* Diaphragma mit Schwefelsäure und Zinkcylinder *Z*.

Fig. 183.



Grove'sches Zink-Platin-Element. I. Das Element zusammengestellt. Im äusseren Glase steht das Zink in verdünnter Schwefelsäure, innerhalb des Zinkcylinders steht das Thondiaphragma, in welchem in concentrirter Salpetersäure das S-förmig gekrümmte Platinblech II. steckt. An letzterem ist ein Deckel, um die Dämpfe der rauchenden Salpetersäure im Diaphragma möglichst zurückzuhalten. *A*, *a* ist das Platin, mit einer Klemmschraube versehen, eine gleiche befindet sich am Zink zur Aufnahme der Leitungsdrähte.

Fig. 184.



Zink *Z* und Kupfer *K* in verdünnter Schwefelsäure, die Pfeile geben die Stromrichtung an.

In allen dreien findet sich als positives Metall Zink und zwar amalgamirt, um die electrischen Ungleichartigkeiten seiner Oberfläche möglichst auszugleichen. Es steht in einem Diaphragma

von gebranntem Thon in verdünnter Schwefelsäure (auf 1000 ccm destillirten Wassers 25 ccm der concentrirten Säure). Das Kupfer in den DANIELL'schen Ketten ist in eine concentrirte Lösung von schwefelsaurem Kupferoxyd eingesenkt, in die, um sie stets concentrirt zu erhalten, einige Krystalle ungelösten Kupfervitriols geworfen werden. Schwefelsäure und Kupfervitriol stehen durch die Poren des Diaphragma in Berührung. In den GROVE'schen Elementen steht an Stelle des Kupfers Platin, in den BUNSEN'schen Kohle (Gaskoake), beide in concentrirter Salpetersäure, das Zink in derselben Schwefelsäure wie bei den DANIELL'schen Ketten. Die electromotorische Kraft der GROVE'schen und BUNSEN'schen Ketten ist etwa 1,8 mal grosser als die der DANIELL'schen (Fig. 182, 183). Am Zink ist der negative, an dem anderen Metall (Kupfer, Platin oder Kohle) der positive Pol.

Auch inkonstante Ketten werden in der Therapie hier und da, wo es zwar auf kräftige, aber kurzdauernde Wirkungen ankommt, benutzt. Bei ihnen findet keine vollkommene Bindung der durch Electrolyse gebildeten Ionen statt. Es stehen die zwei Electricitätserreger — z. B. Zink und Kohle — in der gleichen Flüssigkeit, entweder Schwefelsäure oder Chromsäure.

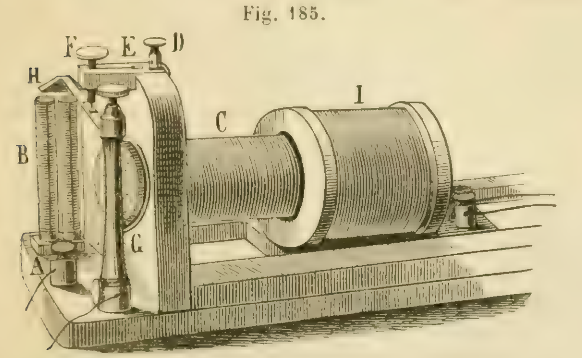
Um die Wirkungen der galvanischen Ketten zu verstärken, combinirt man mehrere, entweder indem man alle positiven und alle negativen Pole der einfachen Ketten mit einander verbindet (durch Klemmschrauben oder Löthung), oder indem man abwechselnd je einen positiven und einen negativen Pol vereinigt. In dem ersteren Falle bildet man aus allen positiven und negativen Metallen gleichsam eine grössere einfache Kette, es wird die electrische Spannung von der einen Kette zur andern geleitet, an den freibleibenden Polen summirt sich die Electricität aller einzelnen. Man wendet diese Methode vor Allem dann an, wenn die Widerstände in der Leitung ausserhalb des Elementes gering sind, wie zum Beispiel bei der Galvanokaustik, wo sich nur metallische Leiter finden. Bei den thierisch-electrischen Versuchen so wie bei der Anwendung der Electricität auf den menschlichen Körper, der einen sehr grossen Leitungswiderstand bietet, ist die zweite Art der Combination allein vortheilhaft. Fig. 184 gibt die Stromrichtung an.

Electrische Reizapparate. — Zur Erregung der Muskeln und Nerven dienen plötzliche Intensitätsschwankungen des einwirkenden electrischen Stromes, da ein konstanter Strom für gewöhnlich nicht erregend wirkt. Am einfachsten sind solche Intensitätsschwankungen durch Oeffnen und Schliessen stärkerer konstanter Ströme zu erreichen. Man sieht dann jedesmal am Froschmuskel eine lebhafte Zuckung, bei starken Strömen fühlt man einen lebhaften Schmerz, während bei konstantem Andauern des Stromes der Schmerz weniger intensiv ist und gewöhnlich keine Muskelcontractionen eintreten. Es sind am besten zum Zwecke der Erregung Ströme anzuwenden, welche nicht konstant sind, nur kurze Zeit dauern, während dieser Zeit aber rasch zu einer bestimmten Höhe anwachsen und dann sogleich wieder abnehmen. Lässt man derartige Ströme in rascher Aufeinanderfolge durch Muskel oder Nerven gehen, so erhält man keine einzelne, sondern eine dauernde Erregung: Tetanus. Als solche kurzdauernde, stark erregend wirkende Ströme sind vor Allem die Inductionsströme zu nennen. Die Inductionsapparate leisten Alles, was man in dieser Beziehung verlangen kann, wenn sie wie der Schlittenmagnetelectromotor von DU BOIS-REYMOND (Fig. 185) gestatten, nach Belieben schwache und starke Ströme anzuwenden und diese mit grösserer oder geringerer Schnelligkeit sich folgen zu lassen.

Wir haben an ihm die primäre *C* und die secundäre Rolle *I*, die in einem Falze, in welchem die secundäre Rolle schlittenartig sich verschieben lässt, leicht von einander beliebig entfernt, selbst so weit, dass keine Induction mehr erfolgt, oder im Gegentheile ganz über einander geschoben werden können. Dadurch ist es möglich, die Intensität der Inductionsströme beliebig zu verringern und zu vergrössern, die grössere oder geringere Annäherung der Rollen gestattet eine sehr zarte Abstufung der Stromstärken. Letztere können noch durch Einlegen oder Herausnehmen des Drahtbündels in der primären Spirale in anderer Weise regulirt werden. Die Raschheit des Oeffnens und Schliessens des inducirenden electrischen Stromes, zu dessen Erzeugung für physiologische und ärztliche Zwecke gewöhnlich vollkommen ein

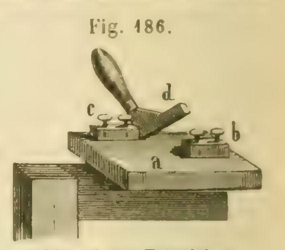
einziges mittelgrosses DANIELL'sches Element ausreicht (nur unter besonderen Fällen bedarf man eines GROVE'schen oder BUNSEN'schen Elementes), kann durch feines Verschräuben eines über dem electrisch bewegten Hämmerchen angebrachten Schräubchens *F* verändert werden; durch tieferes Einschrauben desselben wird die Entfernung des Hämmerchens von seinem als Ambos dienenden Electromagneten verringert, damit auch seine Schwingungsdauer und die Zeit der Oeffnung und Schliessung. Das genannte Schräubchen, das in eine feine Spitze ausläuft, leitet dem Hämmerchen den bewegenden electrischen Strom zu, man sieht zwischen ihm und dem letzteren, wenn der Apparat spielt, Funken überspringen, welche das Metall des Hämmerchens oxydiren. Um letzteres möglichst zu verhüten ist ein Platinblättchen unter der Schraubenspitze auf den Hammer gelöthet, das, trotzdem das Platin sehr schwer oxydirbar ist, manchmal geputzt werden muss, um die metallische Berührung und damit den Gang des Apparates fortdauern zu lassen. Der Strom wird dem Apparat durch zwei Klemmschrauben *A* und *G* zugeleitet, von denen sich die eine am Fusse des den Hammer tragenden Säulchens, die andere unten neben diesem befindet. Jede ist gewöhnlich mit einem Buchstaben: *K* oder *Z* bezeichnet, zur Andeutung, dass die eine für Aufnahme des Zink-, die andere für die des

Fig. 185.



Schlittenmagnetelectromotor. *G* primäre, *I* secundäre Inductionsrolle. *B H* Electromagnetisches Unterbrechungshämmerchen mit der Stellschraube. *F* Klemmschrauben zur Zuleitung des konstanten Stromes (1 DANIELL) an *I* unten die Klemmschrauben zum Ableiten der Inductionsströme, Verbindung mit den reizenden Electroden.

Fig. 186.



Schlüssel zum Tetanisiren.

a Platte von Hartkautschuk auf der Holzschraube befestigt, *b*, *c* Messingklötze mit je zwei Klemmschrauben zum Aufnehmen von Drähten. *d* Messinghebel mit Handhabe, mit *c* durch ein Messinggelenk leitend verbunden.

Kupferpoles bestimmt ist. Die gleichbleibende Wahl der einen oder anderen Klemmschraube für Zink oder Kupfer hat vor Allem den Zweck, die Stromrichtungen in dem Magnetelectromotor gleichmässig zu halten. Die inducirten Ströme in der secundären Spirale wechseln, wie wir gesehen haben, beständig in ihrer Richtung. Der Oeffnungsstrom verläuft aber viel schneller als der Schliessungsstrom, er wirkt daher auch weit energischer als dieser, so dass praktisch nur seine Richtung in Betracht kommt. Die Versuche ergeben nun, dass die Reizung durch Inductionsströme an der n e g a t i v e n E l e c t r o d e (an welcher der Strom den Körper wieder verlässt, weit stärker ist als an der p o s i t i v e n (an welcher der Strom eintritt). Man thut daher gut, die reizende Electrode (für die Muskeln die kleinere, für die Hautnerven den Pinsel) mit derjenigen Klemmschraube der secundären Spirale zu verbinden, welche für den Oeffnungs-Inductionsstrom die negative Electrode ist. An der secundären Spirale finden sich ebenfalls zwei Klemmschrauben, welche zur Aufnahme der als Electroden dienenden Drähte dienen (Fig. 185). Gemeiniglich leitet man diese letzteren zuerst zu einem sogenannten Schlüssel. Sehr zweckmässig ist dazu DU BOIS-REYMOND's S c h l ü s s e l z u m T e t a n i s i r e n, der auf eine Holzschraube befestigt wird, um ihn beliebig an einen Tisch anzuschrauben. Der Schlüssel selbst besteht aus zwei isolirt auf gehärtetem Kautschuck *a* befestigten Messingklötzchen *c* und *b*; an *C* ist ein Messinghebel *d* mit einer beinernen, also isolirenden, Handhabe versehen angebracht (Fig. 186). Drückt man ihn an seiner Handhabe nieder, so

legt er sich an den anderen Klotz an und setzt ihn in gut leitende Verbindung mit dem ersten. Jeder der beiden Klötze hat zwei Durchbohrungen, in welche man durch Schrauben Drähte einklemmen kann. Leitet man nun die zwei Drähte der secundären Spirale in je einen solchen Klotz und von jedem Klotze weg je eine der zur Reizung zu verwendenden Electroden und schliesst den Schlüssel durch Niederdrücken des Hebels, so bildet dieser Hebel eine gutleitende Brücke (Nebenschliessung) zwischen den offen gedachten oder an einen Körper mit starkem electrischen Widerstand, z. B. an der Haut oder an einen Nerven angelegten Electroden. Die Inductionsströme nehmen unter diesen Umständen ganz diesen besser leitenden Weg, so dass bei geschlossenem Schlüssel keine Wirkung eintritt. Erst wenn er geöffnet ist, brechen die Inductionsströme in den Electrodenkreis herein und bedingen betreffenden Falles die geforderte Erregung. Schlittenapparate zu therapeutischen Zwecken sind meist in einem Kasten eingeschlossen; es finden sich gewöhnlich auch schon eigene Schlüsselvorrichtungen an ihnen angebracht, die die eben genannte unnöthig machen.

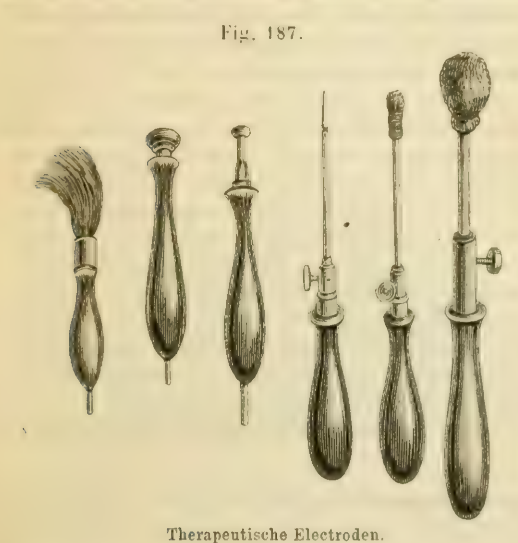
Zu therapeutischen Zwecken wurden früher fast ausschliesslich Inductionsapparate nicht mit Electromagneten wie der beschriebene du Bois-Reymond'sche Schlitten, sondern mit Stahlmagneten benutzt. Sie haben den Vortheil, dass sie stets sogleich zum Gebrauche fertig sind, ohne dass erst ein galvanisches Element hergerichtet und angeschraubt werden musste. Doch wird dieser Vortheil reichlich durch den Nachtheil aufgewogen, dass der Apparat zu seiner Bedienung einen Gehülfen zum Drehen der Kurbel bedarf. Dazu kommt noch, dass hier die Stromschwächung und Verstärkung weniger leicht und in geringeren Grenzen möglich ist als bei den eben beschriebenen Apparaten. Doch werden sie noch jetzt vielfältig benutzt: Saxton'sche Maschinen oder magneto-electrische Rotationsapparate. Die Stärke einer Saxton'schen Maschine hängt von der Stärke ihres Magneten, der Windungsanzahl ihrer Rollen und von der Geschwindigkeit des Drehens ab. Man kann die Stärke also durch Schwächung des Magneten reguliren, welche man durch Anlegung eines Eisenankers, je näher den Polen, desto eingreifender, erreichen kann. Gewöhnlich ist auch noch eine Schraubenvorrichtung angebracht, welche es erlaubt, die Inductionsrollen mehr oder weniger von den Magnetpolen abzurücken, wodurch die Wirkung auch herabgesetzt werden kann.

Physiologische und therapeutische Electroden. — Die electrischen Ströme der beiden genannten Instrumente werden den physiologischen Präparaten durch sogenannte Electroden zugeleitet. Diese Electroden sind gewöhnlich zwei einfache Drähte, am besten Platindrähte, mit denen man die zu reizenden Organe metallisch berührt. Man kann diese Drähte mit der Hand während der Reizung halten. Natürlich müssen sie dazu an der Stelle, wo man sie berührt, mit einer isolirenden Schicht, Glas- oder Kautschukröhrchen, überzogen sein. Auch Griffe von Bein in bequemer Form isoliren meist genügend. Kommt es bei physiologischen Reizversuchen darauf an, die Polarisation vollkommen zu vermeiden, so kommen die beschriebenen du Bois-Reymond'schen unpolarisirbaren Electroden in einer modificirten Form zur Verwendung: Glasröhrchen, deren eines offenes Ende mit feuchtem plastischem Thon, getränkt mit 0,7—1 pCt. Kochsalzlösung, verschlossen ist, den man als Spitze, der mit der Hand jede beliebige Form gegeben werden kann, vorstehen lässt. Diese Thonspitzen werden an die zu reizenden Nerven oder Muskeln direct angelegt. Das Röhrchen ist mit concentrirter Zinkvitriollösung gefüllt, in welche ein schmales amalgamirtes Zinkblech getaucht ist, das bis gegen den Thonboden des Röhrchens herabreicht. An das Zinkblech ist der Leitungsdraht, der die Electroden mit dem electrischen Apparat verbindet, angelöthet.

Die Electroden für therapeutische Zwecke haben eine wesentlich von den eben beschriebenen verschiedene Gestalt. Sie haben den Zweck, electrische Reizung durch die trockene Oberhaut des menschlichen Körpers hindurch zu vermitteln, welche für sich die electrischen Ströme nicht leitet, wie alle hornähnlichen Materien, die ja als Isolatoren benutzt werden können. Die Schweissdrüsen, welche die Epidermis durchsetzen, sind dagegen

feucht, sie leiten die Electricität, welche also, wenn sie auf die trockene Haut angewendet wird, allein diese Wege in die Tiefe nimmt. Sie erreicht dadurch, das sie sich durch so feine Oeffnungen gleichsam hindurchzwängen muss, in diesen eine sehr bedeutende Intensität, die eine heftige Reizung der direct betroffenen Hautnerven hervorbringt. Die Gesammtintensität der Ströme wird aber durch diese feine Vertheilung in Stromfäden und den enormen Hautwiderstand so bedeutend geschwächt, dass sie kaum zur Reizung der unter der Haut liegenden Muskeln und Nerven ausreicht, die überdies durch die Erregung der Hautnerven sehr schmerzhaft wird. Dagegen kann in manchen Fällen die Schmerzerregung therapeutischer Zweck sein. Die Electroden, wenigstens die eine muss dann stets auf die trockene Hautstelle, die gereizt werden soll, angelegt werden. Man gibt gern der Electrode, mit der man eine Hautstelle schmerzhaft reizen will, die Gestalt eines Pinsels aus Drahtfäden, mit dem man die Haut bestreicht, welche dadurch leicht und stark erregt werden kann (Fig. 187).

Fig. 187.



Therapeutische Electroden.

Kommt es dagegen darauf an, die unter der Haut liegenden Organe zu erregen, so muss der Widerstand der Epidermis möglichst geschwächt werden. Man erreicht dieses durch Befeuchten der letzteren mit warmem Wasser oder Kochsalzlösung. Setzt man auf eine solche künstlich für Electricität durchgängig gemachte Hautstelle die mit feuchtem Schwamm oder Leder überzogenen Electroden auf, so fliesst der Strom breit, zusammenhängend durch die Haut und erregt die Hautnerven selbst weniger, dagegen kräftiger die unterliegenden Muskeln und Nerven. Die Electroden werden dazu ziemlich nahe an einander aufgesetzt, um die Intensität des Stromes an einer bestimmten Stelle, die gereizt werden soll, möglichst gross werden zu lassen. Will man den Muskel oder Muskelnerven reizen, so ist die eine Electrode eine breite feuchte Platte, welche man auf die gut durchfeuchtete Haut nahe dem zu erregenden Muskel oder auf diesen selbst aufdrückt. Die reizende Electrode ist klein, feucht auf die wohldurchfeuchtete Haut aufzudrücken über dem zu reizenden Muskel oder seinem Nerven. Bei der Hautreizung dagegen werden die Electroden möglichst weit von einander, aus dem entgegengesetzten Grunde, angelegt. Die eine breite Electrode (feuchte Platte) muss dabei auch feucht angelegt werden, um möglichst wenig Schmerz zu erregen, während man mit der anderen (Pinsel oder trockene Platte) die zu reizende Hautstelle bestreicht.

Für die Anwendung der konstanten Ketten kommen ganz dieselben Regeln zur Geltung wie für die Inductionsströme. Stets wird man im Auge haben müssen, dass an dem Orte, an dem die Wirkung eingeleitet werden soll, die Dichtigkeit des Stromes relativ möglichst bedeutend sei. Auch hier gelten dieselben Gesichtspunkte für Anlegung der Electroden (man verwendet die gleichen wie für die Inductionsströme). Gilt die Einwirkung den tieferen Gebilden unter der Haut, wie es wohl meist der Fall sein wird, so hat man sich wie dort auch feuchter Electroden zu bedienen. Will man im Allgemeinen auf tiefere Theile wirken, so bedient man sich zweier feuchter, grosser Electroden; will man eine Wirkung an einer bestimmten Stelle, so wird man die eine Electrode klein sein lassen, um, auf die zu electrisirende Stelle aufgesetzt, hier eine möglichst bedeutende Stromstärke zu bewirken.

Den Muskel kann man am besten von seinem Nerven aus zur Zusammen-

ziehung bringen. DUCHENNE fand, dass man von bestimmten Punkten der Hautoberfläche aus die Muskeln, wenn man dort die reizende Electrode aufsetze, am besten und vollständigsten zur Zusammenziehung bewegen könne. Er nannte diese Stellen: »Punkte der Wahl«. REMAK wählte dafür den bezeichnenden Ausdruck: motorische Punkte und sprach zuerst aus, dass diese Stellen den unter der Haut liegenden Eintrittspunkten der Nerven in die Muskeln entsprachen. ZIEMSSEN hat die bis dahin bekannten motorischen Punkte als die Eintrittsstellen der Nerven in die Muskeln anatomisch erwiesen und eine Anzahl neuer festgestellt.

Für Erregung der Nerven im Gesichte liegt die breite feuchte Electrode auf dem Rücken. Man bedient sich hier wie bei den Sinnesnerven nur sehr schwacher Ströme!! Um das Auge (Retina) zu electrisiren, setzt man die eine (kleine) Electrode auf den inneren Augenwinkel, die grosse auf die Schläfe. Zur Erregung des Gehörnerven füllt man das Ohr mit lauem Wasser und bringt einen Draht hinein, die breite Electrode liegt wie oben auf der Schläfe. Da die Knochen die Electricität auch leiten, so kann man mit entsprechenden Stromstärken auch den Centralorganen des Nervensystemes (Rückenmark und Gehirn) electrische Ströme zuleiten.

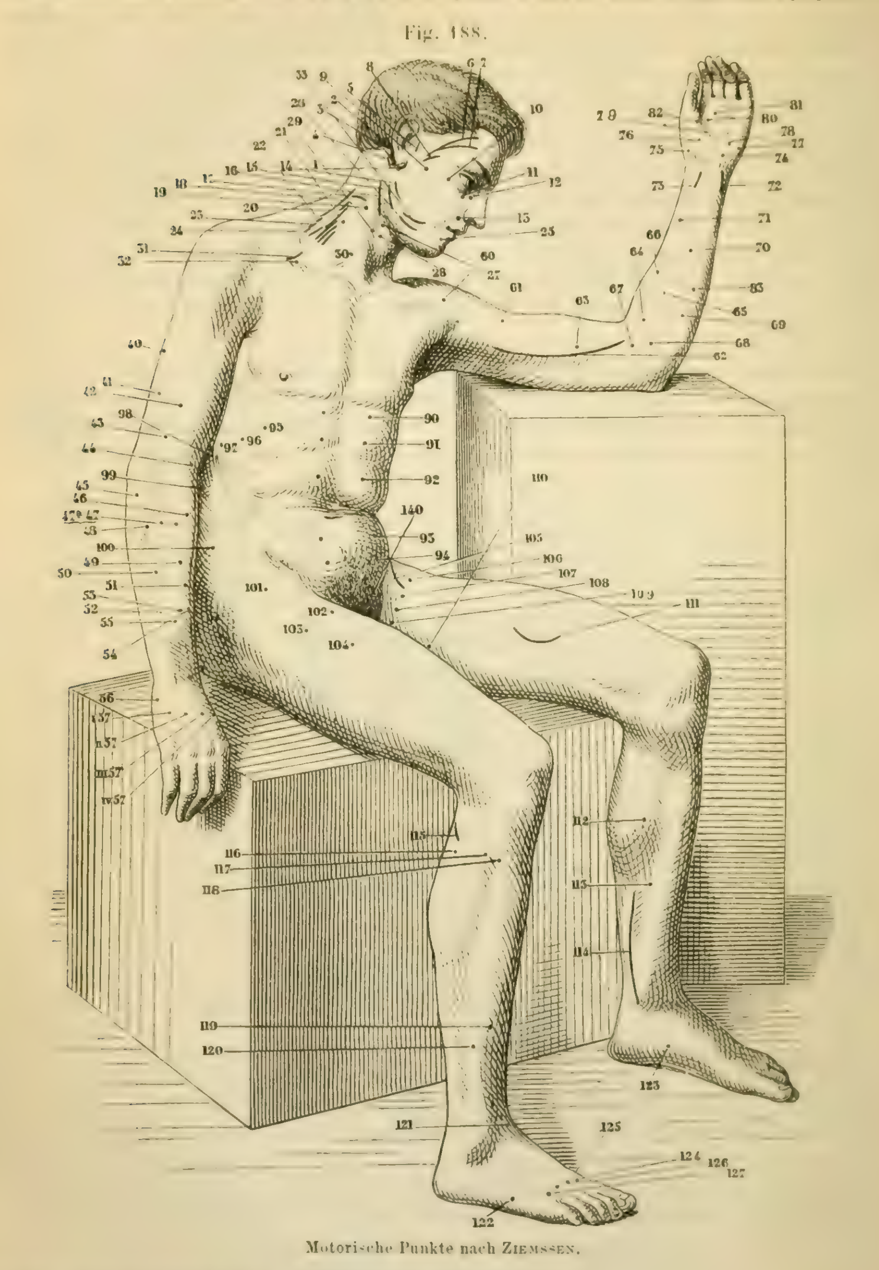
In der nachstehenden Fig. 188 sind nach ZIEMSSEN eine Reihe motorischer Punkte für die Anlegung der Electroden zur Erregung bestimmter Nerven und Muskeln bezeichnet. Die Abbildung ist nach einer Photographie eines 26jährigen Mannes angefertigt, an welchem ZIEMSSEN die motorischen Punkte aufgesucht und mit Höllenstein auf die Haut bezeichnet hatte.

Tabelle der motorischen Punkte nach ZIEMSSEN.

Nro. 1. Stamm des N. facialis nach seinem Austritt aus dem Foram. stylomast.
- 2. **Zweig des N. facialis zu den Mm. retrahentes und attollens auriculae (hintere Portion).**
- 3. Zweig des N. facialis zum M. occipitalis.
- 4. **Zweig des N. facialis zum M. tragicus und antitragicus.**
- 5. Zweig des N. facialis zum M. attrahens auriculae und attollens auriculae (vordere Portion).
- 6. **Zweig des N. facialis zum M. frontalis.**
- 7. **Zweig des N. facialis zum M. corrugator supercilii.**
- 8. **Zweig des N. facialis zum M. orbicularis palpebrarum.**
- 9. **Zweig des N. facialis zum M. zygomaticus major.**
- 10. **Zweig des N. facialis zum M. zygomaticus minor.**
- 11. **Zweig des N. facialis zum M. levator lab. super. et alae nasi.**
- 12. **Zweig des N. facialis zum M. compressor nasi.**
- 13. **Zweig des N. facialis zum M. levator lab. super. propr.**
- 14. **Hauptäste (Rami buccales) des N. facialis.**
- 15. **Hauptäste (Rami subcut. maxill. inf.) des N. facialis.**
- 16. **Hauptäste (Rami subcut. colli) des N. facialis.**
- 17. **Zweig des N. accessorius Willisii zum M. sternocleidomast.**
- 18. **Aeusserer Ast des N. accessorius Willisii zum M. cucullaris.**
- 19. **Aeste für das Platysma myoides aus dem Plex. cervicalis.**
- 20. **Zweig des Plexus cervicalis zum M. levator anguli scapulae.**
- 21. **Nervus phrenicus.**
- 22. **N. dorsalis scapulae zum M. rhomboideus und serratus postic. sup.**
- 23. **N. thoracici posteriores (N. thorac. long.) zum M. serratus magnus.**
- 24. **N. suprascapularis zum M. supra- und infraspinatus.**
- 25. Zweig des N. facialis zum M. quadratus menti.
- 26. **Zweig des N. facialis zum M. triangularis menti.**
- 27. **N. hypoglossus.**
- 28. **Zweig der Ansa N. hypoglossi zum M. amohyoideus.**
- 29. **Zweig der Ansa N. hypoglossi zum M. sternothyreoideus.**
- 30. **Zweig der Ansa N. hypoglossi zum M. sternohyoideus.**
- 31. Vorderes äusseres Bündel des Plex. brachialis, aus welchem der N. musculocutan. und ein Theil des **N. medianus entspringen.**
- 32. N. thoracici anteriores zu den Mm. pectorales.
- 33. Zweig des N. facialis zum M. quadratus menti.
- 40. **Zweig des N. radialis zum Caput extern. M. tricipitis.**
- 41. **N. radialis.**
- 42. Wandelbarer Ast des N. radialis zum M. brachialis internus.
- 43. **Nerveneintrittsstelle (vom Muskel bedeckt) zum M. supinator longus**
- 44. **Nerveneintrittsstelle (vom Muskel bedeckt) zum M. radialis externus long.**
- 45. **Aestchen des N. radialis zum M. anconaeus quartus.**
- 46. **Nerveneintrittsstelle zum M. radialis externus brevis.**

Nro. 17. }
- 17. a} Aeste des N. radialis zum M. extensor digitor. communis.
- 18. Nerveneintrittsstelle zum M. ulnaris externus.
- 19. Gemeinsame Reizungsstelle für den M. abductor pollicis longus und extensor digiti indicis proprius.

Fig. 188.



Motorische Punkte nach Ziemssen.

Nro. 50. Motorischer Punkt für den M. extensor digiti minimi proprius.
- 51. Motorischer Punkt für den M. abductor pollicis longus.
- 52. Motorischer Punkt für den M. extensor indicis proprius.

Nro. 53. Gemeinsamer motorischer Punkt für die Mm. extensores pollicis longus und brevis.
- 54. Motorischer Punkt für den M. extensor pollicis brevis.
- 55. Motorischer Punkt für den M. extensor pollicis longus.
- 56. Motorischer Punkt für den M. abductor digiti minimi.
- 57. I.
- 57. II.
- 57. III.
- 57. IV.
} Motorische Punkte für die Mm. interossei externi.
- 60. Zweig der Nn. thoracici ant. zum M. deltoideus.
- 61. Nervus musculocutaneus.
- 62. N. medianus.
- 63. Reizungsstelle des Zweiges vom N. musculocutaneus zum M. brachialis int.
- 64. Zweig des N. medianus zum M. pronator teres (äusserer).
- 65.
- 66.
} Motorische Punkte für den M. flexor digitor. sublimis.
- 67. Zweig des N. medianus zum M. pronator teres (innerer).
- 68. Motorischer Punkt für den M. radialis internus.
- 69. Motorischer Punkt für den M. palmaris longus.
- 70. Motorischer Punkt für den M. flexor digitorum sublimis.
- 71. Motorischer Punkt für den M. flexor pollicis longus.
- 72. Nervus ulnaris nach Abgabe seines Dorsalastes.
- 73. Nervus medianus.
- 74. Reizungsstelle des Ram. volaris prof. N. ulnaris.
- 75. **Motorischer Punkt für den M. abductor pollicis brevis.**
- 76. Motorischer Punkt für den M. opponens pollicis.
- 77. **Motorischer Punkt für den M. abductor digiti minimi.**
- 78. Motorischer Punkt für den M. flexor digiti minimi.
- 79. **Motorischer Punkt für den M. flexor pollicis brevis.**
- 80. **Reizungsstelle des Ulnarzweiges zum M. adductor pollicis.**
- 81. Reizungsstelle des Medianzweiges zum M. lumbricalis II.
- 82. Reizungsstelle des Medianzweiges zum M. lumbricalis I.
- 83. Motorischer Punkt des M. flexor digitor. commun. profundus.
- 84. **Motorischer Punkt des M. ulnaris internus.**
- 90.
- 91.
- 92.
- 93.
- 94.
} Motorische Punkte der Bäuche des M. rectus abdominis.
- 95.
- 96.
- 97.
- 98.
} **Motorische Punkte des M. obliquus abdominis externus.**
- 99. **Motorischer Punkt des M. transversus abdominis.**
- 100. **Motorischer Punkt des M. obliquus abdominis internus.**
- 101. **Eintrittsstelle des Zweiges vom N. cruralis zum M. tensor fasciae latae.**
- 102. **Eintrittsstelle des inneren Zweiges vom N. cruralis zum M. rectus femoris.**
- 103. **Eintrittsstelle des Zweiges vom N. cruralis zum M. vastus externus.**
- 104. **Eintrittsstelle des Zweiges vom N. cruralis zum M. cruralis.**
- 105. **Nervus cruralis.**
- 106. Zweig des N. cruralis zum M. sartorius.
- 107. **Motorischer Punkt des M. pectineus.**
- 108. Motorischer Punkt des M. adductor brevis.
- 109. Motorischer Punkt des M. adductor longus.
- 110. **Motorischer Punkt des M. gracilis.**
- 111. Zweig des N. cruralis znm M. vastus internus.
- 112. Motorischer Punkt des M. soleus.
- 113. Zweige vom N. tibialis zum M. flexor digitor. commun. longus.
- 114. Nervus tibialis.
- 115. Nervus peroneus.
- 116. Nervus peroneus superficialis.
- 117. **Motorischer Punkt des M. extensor digitor. commun. longus.**
- 118. Motorischer Punkt des M. tibialis anticus.
- 119. **Motorischer Punkt des M. extensor hallucis longus.**
- 120. **Motorischer Punkt des M. peroneus tertius.**
- 121. **Endast des N. peroneus profundus zum M. extensor digitorum communis brevis.**
- 122. **Motorischer Punkt des M. abductor digiti minimi.**
- 123. **Motorischer Punkt des M. abductor hallucis.**
- 124.
- 125.
- 126.
- 127.
} Motorische Punkte der Mm. interossei externi.
- 140. **Nervus obturatorius.**

Der Nervus ischiadicus ist am unteren Rande des Glutaeus maximus zwischen Trochanter major und Tuber ischii in der Mitte, mit kräftigem Aufsetzen und starkem Strom zu erreichen: Beugung des Unterschenkels mit schmerzhaften Sensationen.

Etwa in der Mitte der Mittellinie der Hinterfläche des Oberschenkels findet sich ein motorischer Punkt (N. ischiadicus) für den M. biceps femoris, über der Kniekehle auch in der Mittellinie ein zweiter.

Neben dem oberen motorischen Punkte des M. bic. fem. nach innen $5^3/_4''$ vom Tuber ischii ist der Nervenast für den M. semitendinosus zu treffen.

Noch etwas weiter nach innen auf derselben Höhe am Schenkel der Ast des M. semimembranosus etc.

Physiologie der Sinnesorgane.

Zweiundzwanzigstes Capitel.

Die allgemeinen Grundlagen der Empfindung, Hautsinn und Gemeingefühl.

Leitungsgesetze der Nerven.

Der Verkehr des menschlichen Organismus mit der Aussenwelt zeigt eine aktive und eine passive Seite. Die Fähigkeit der aktiven Einwirkung beruht auf den Mechanismen der willkürlichen Bewegung, die wir auf Reizzustände arbeiten sehen, welche von den nervösen Centralorganen aus der Peripherie zugeleitet werden. Passiv sehen wir von der Aussenwelt her die nervösen Centralorgane Veränderungen ihres Ruhezustandes erleiden, deren psychische Reflexe wir als Empfindungen bezeichnen. Für die Erzeugung dieser Veränderungen sind eigene peripherisch gelegene Organe vorhanden, die Sinnesorgane, welche gewisse Bewegungen der Aussenwelt, für welche der Nerv an sich z. Thl. nicht empfindlich (oder zu stark empfindlich) ist, in adaequate Nervenreize umsetzen. Nur die Endorgane des Opticus sind für Licht, des Acusticus für Schall, des Olfactorius für Gerüche erregbar. Ohne die Sinnesapparate fehlt dem Nerven die Fähigkeit der Erregung durch gewisse Bewegungsformen ausser ihm. Man kann sich vorstellen, dass es noch eine Reihe von Bewegungsformen ausser uns gibt, von denen wir keine Ahnung haben, da den Menschen die Organe, sie in Nervenreize zu verwandeln, abgehen (cfr. Sechster Sinn).

Die beiden namhaft gemachten Nervenleitungen, motorische und sensible, verlaufen in den motorischen und sensiblen Nerven in verschiedener Richtung. Während bei den ersteren ein in den Centralorganen entstehender Reizzustand centrifugal den Organen zugeleitet wird, erfolgt dort auf einen in der Peripherie auf die Nervenendigungen einwirkenden Reiz die Erregung der Centralorgane, die Erregungsleitung geschieht sonach im entgegengesetzten Sinne: centripetal. Für alle functionell verschiedenen Nervengattungen gilt bei der Erregung, soweit nicht electrische Stromschwankungen in Betracht kommen, das oben besprochene Gesetz der isolirten Leitung, nach welchem der physiologische Erregungszustand aus einer Nervenfaser niemals direct auf eine andere, d. h. von Nervenfaser zu Nervenfaser, übertragen wird. Die Erregung beschränkt sich primär auf die gereizte Nervenfaser und ihre peripheren

und centralen Endverzweigungen. Uebertragungen von Nervenerregungen auf andere Fasern finden nur durch Vermittelung von Ganglienzellen in den nervösen Centralapparaten statt.

Man hat lange versucht, die Grundlage des motorischen und sensiblen verschiedenen Leitungsvermögens in einer äusseren oder inneren Verschiedenheit der Nerven selbst, in denen es sich findet, zu entdecken. Das Mikroskop, die chemische Analyse, das physikalische Experiment haben solche gesuchte Unterschiede in den Stämmen und Zweigen der Bewegungs- und Empfindungsnerven selbst bisher nicht auffinden können, wir müssen sonach die Ursachen dieser Verschiedenheiten der nervösen Thätigkeiten im Centrum oder in der äussersten Peripherie oder an beiden Orten suchen.

In physikalischer d. h. electrischer Beziehung scheinen die physiologischen Grundeigenschaften der motorischen und sensiblen Nerven identisch. In der du Bois-Reymond'schen Entdeckung der negativen Stromschwankung des gereizten Nerven ist uns ein Mittel an die Hand gegeben, zu entscheiden, ob der Erregungsvorgang im auf- oder absteigenden Sinne in den beiden Nervengattungen ihren verschiedenen Functionen entsprechend mit verschiedener Leichtigkeit zu Stande komme. Es zeigt sich, dass sich in dieser Beziehung keine merklichen Unterschiede ergeben. Die negative Schwankung lässt sich bei functionell gemischten Nervenstämmen erhalten, wenn wir das peripherische oder das centrale Nervenende dem Reiz aussetzen, so dass einmal centripetal, das andere Mal centrifugal der Erregungszustand geleitet wird. Legen wir die reizenden Electroden so an, dass eine mittlere Strecke des ausgeschnittenen Nerven erregt wird, und leiten von beiden Endquerschnitten und zwei ihnen nahe gelegenen Längsschnitten an zwei Multiplicatoren gleichzeitig die Nervenströme ab, so zeigen beide Ströme auf den Reiz die negative Schwankung, zum Beweise, dass diese sich auf- und abwärts fortzupflanzen vermag, ohne dass das Zustandekommen derselben in einer Richtung erleichtert schiene. Versuche der Art, an den Nervenstämmen selbst angestellt, leiden an einem nicht zu übersehenden Fehler. Die Nervenstämme, welche zu den electrischen Versuchen zu Gebote stehen, sind nämlich meist gemischter Natur, d. h. es sind an ihnen in quantitativ verschiedener Mischung motorische und sensible Fasern vereinigt. Man könnte auf den Verdacht kommen, dass das Zustandekommen des Erregungszustandes, der negativen Schwankung das eine Mal in der einen Richtung der einen, in der anderen der zweiten Fasergattung zuzuschreiben sei. An den Austrittsstellen der Nerven aus dem Rückenmarke zeigen sich die Fasern der beiden Gattungen noch ungemischt. Die vorderen Nervenwurzeln bestehen aus motorischen, die hinteren aus sensiblen Nervenfasern (Bell'sches Gesetz, cfr. unten Cap. XXVI). Du Bois-Reymond hat durch Versuche die Gültigkeit der oben angeführten Thatsache auch für diese ungemischten Nerven bestätigt, ebenso zeigt der rein sensible Olfactorius (des Hechts) starken Nervenstrom und negative Schwankung (Kühne, Steiner), so dass damit das doppelsinnige Leitungsvermögen beider Nervengattungen erwiesen ist.

Man hat den Beweis der doppelsinnigen Leitung auch auf die Weise zu führen versucht, dass man einen motorischen und einen nah gelegenen sensiblen Nerven durchschnitt und das peripherische Ende des motorischen mit dem centralen Ende des sensiblen, und umgekehrt das peripherische Ende des sensiblen mit dem centralen Ende des motorischen zusammen-

heilte. Zu diesen Versuchen wurde von Bidder der Nervus hypoglossus und lingualis bei Hunden zu verwenden versucht, von denen der erstere die Bewegung der Zungenmuskeln, der andere die Empfindung der Zunge vermittelt. In der Mehrzahl der angestellten Versuche heilten die Nervenstämme wieder direct an einander, nicht, wie man gewunscht hatte, gekreuzt. In neueren Versuchen schien das Experiment jedoch gelungen. Man konnte von dem über der Narbe liegenden früheren sensiblen Lingualisende aus durch electrische Reizung Contraction der Zungenmuskeln erhalten (Phillipeaux, Vulpian, J. Rosenthal). So konnte durch dieses Experiment die Möglichkeit der Nervenerregungsleitung in beiden Richtungen als bewiesen angesehen werden. Neuerdings hat aber Vulpian die Entdeckung gemacht, dass nach Durchschneidung des Hypoglossus, wenn das peripherische Ende desselben bereits unerregbar geworden ist, vom Lingualis aus Bewegung der Zunge hervorgerufen werden könne. Diese Fähigkeit verdankt der Lingualis den beigemischten Chordafasern, da auf Reizung der Chorda dieselben Zungenbewegungen eintreten, und nach Durchschneidung der Chorda ausbleiben. Das Resultat des eben beschriebenen berühmten Versuchs lässt sich also auch durch Verwachsung centraler Chorda mit pheripherischen Hypoglossusfasern erklären. —

Bezüglich einer etwaigen Verschiedenheit im chemischen Verhalten der motorischen und sensiblen Nerven ist auf die Bemerkung L. Löwe's hinzuweisen, welcher bei Kaninchenembryonen fand, dass sich die sensiblen Nervenfasern schwächer mit Carmin färben als die motorischen, was jedoch im Zusammenhalt mit mikroskopischen Befunden nur für eine spätere vollkommene Ausbildung und Functionirung der ersteren Nervengattung spricht.

Die Verschiedenheit der Empfindungs- und Bewegungsnerven liegt nach den geltenden Anschauungen also nicht in ihnen selbst. Die Unterschiede in ihrer Functionirung werden verursacht durch die Verschiedenheit der peripherischen und centralen Apparate, welche durch die Nerven mit einander in Verbindung gesetzt werden. Der motorische Nerv erhält seinen Charakter dadurch, dass er in einer Ganglienzelle entspringt und in einer Muskelfaser endigt. Sein normales Reizorgan ist eine central gelegene Ganglienzelle, sein Arbeits- oder Erfolgsorgan ein peripherisch gelegener Muskel; so kommt es, dass er von seinem normalen Reizorgane aus nur centrifugal erregt wird, obwohl er auch die Fähigkeit zur centripetalen Erregungsleitung besitzt. Umgekehrt ist es bei den sensiblen Nerven: sie laufen von einem peripherisch gelegenen Reizorgan, einem sogenannten Sinnesorgane: Auge, Ohr, Tastkörperchen etc., zu ihrem central gelegenen Erfolgsorgan, zu Ganglienzellen im Gehirn und Rückenmark. Der normale Reiz, der die Empfindungsnerven erregt, wirkt an der Peripherie ein, das Erfolgsorgan, welches dadurch erregt wird, liegt central, so ist die Richtung der Erregungsleitung normal centripetal, obwohl den betreffenden Nerven auch ein Leitungsvermögen nach der umgekehrten Richtung zukommt.

Das Zustandekommen der inneren Bewegung, welche den Empfindungsvorgang vermittelt, pflegt die moderne Physiologie in central gelegene Ganglienzellen zu verlegen, da sich in den Centralorganen keine anderen Organe als die genannten Zellen, als deren Ausläufer die Nervenfasern zu betrachten sind, finden, denen wir diese höchste Function des animalen Organismus zuzuschreiben vermögen (cf. Gehirn und Rückenmark).

Qualitäten der Empfindung.

Die Empfindungserscheinungen schliessen, auch abgesehen von der rein psychologischen Seite der hier sich aufdrängenden Fragen, einige der grössten Räthsel der Physiologie in sich.

Woher kommen die verschiedenen Qualitäten der Empfindung? Wodurch unterscheiden wir die sensiblen Nervenbewegungen als sehen, hören, schmecken, riechen, Tast- und Temperaturempfindung?

Man hat in einer früheren Periode der Wissenschaft sich damit begnügt, die sensiblen Nerven als blosse Leiter für die Eigenschaften der äusseren Dinge anzusehen; man glaubte wohl, dass durch die Nerven direct die Eindrücke des Lichtes, der Tonschwingungen, der Geschmacksstoffe den Centralorganen zugeleitet würden, die Qualitäten der Empfindungen führte man auf die Qualitäten der sie erzeugenden Bewegungen und Stoffe direct zurück. Man suchte sich mit dieser Annahme über die Schwierigkeiten hinwegzusetzen, die aus der Erfahrung hervorgehen, dass bei dem Menschen durch Reizung jeder einzelnen sensiblen Nervenfaser nur solche Empfindungen entstehen können, welche zu dem Qualitätenkreis eines einzigen bestimmten Sinnes gehören, und dass jeder Reiz, welcher diese Nervenfaser überhaupt zu erregen vermag, nur Empfindungen dieses besonderen Kreises hervorruft. Der verschiedene Bau der sensiblen Endorgane, der Sinneswerkzeuge, welche zweifelsohne für das Wirksamwerden der verschiedenen Reizmittel: Druck, Licht, Schall, chemische Einwirkungen zweckmässig eingerichtet sind, sollte Alles erklären. Die Erfahrungen der chirurgischen Praxis und des physiologischen Experimentes widersprechen aber einer solchen einfachen Annahme direct.

Es zeigt sich, dass in allen Fällen die Reizung des Nervenstammes selbst eine Empfindung aus dem gleichen Qualitätenkreis hervorruft als die Reizung seiner Endorgane. Reizen wir einen sensiblen Nervenstamm, so erregt dieses eine Empfindung, als würden alle Endorgane gereizt, welche mit dem Stamme in Verbindung stehen. Reizung von Nervenzweigen beschränkt dem entsprechend den Erfolg auf die von den Nervenzweigen versorgten Organe. Tausendfältig sind die Erfahrungen der Chirurgen, dass auch dann noch, wenn die Empfindung in den äusseren Theilen durch Durchschneiden der Nerven oder auf einem anderen Wege vollkommen verschwunden ist, der Nervenstamm selbst noch Empfindungen haben kann, welche von dem ehemaligen peripherischen Verbreitungsbezirke desselben angeregt zu sein scheinen. Hierher gehören die Gefühle scheinbar an amputirten Gliedern, die Beobachtung, dass nach Transplantation des Stirnlappens bei der künstlichen Nasenbildung vor der Durchschneidung der Hautbrücke, welche die neue Nase mit der Stirn verbindet, die Berührung der Nase eine Empfindung erzeugt, welche in die Stirn, von wo die Haut derselben stammt, verlegt wird. Dieselbe Unabhängigkeit der von dem Nerven vermittelten Empfindung von der Lage des empfindenden Endorganes zeigt sich auch, wenn wir, wie schon ARISTOTELES wusste, willkürlich die empfindenden Organe aus ihrer normalen Lage bringen, wenn wir z. B. Zeigefinger

und Mittelfinger derselben Hand kreuzweis über einander legen und zwischen den nun sich zugewendeten Seiten der gekreuzten Finger, welche im normalen Zustand die entgegengesetzten Seiten derselben sind, eine kleine Kugel hin- und herrollen; man glaubt dann zwei Kugeln zu spüren, da bei der normalen Fingerlagerung nur zwei verschiedene Kugeln gleichzeitig die beiden betreffenden Fingerseiten berühren können.

Noch schlagender sind die Beobachtungen bei den Nerven der sogenannten höheren Sinnesorgane. Lassen wir gewisse verschiedene als Reizmittel bekannte Agentien auf die Sinnesorgane selbst einwirken, z. B. Electricität, so zeigen sich dieselben dafür empfänglich, aber jeder Sinnesnerv empfindet alle Reize auf seine specifische Art. Der eine Nerv sieht davon Licht, der andere hört davon einen Ton, der andere schmeckt die Electricität, dasselbe Agens, welches von den anderen sensiblen Nerven als Schmerz oder Schlag empfunden wird. Vermehrter Blutandrang erregt in dem einen Organe, durch Reizung seiner nervösen Apparate, ein leuchtendes Bild, in dem anderen Brausen, in noch anderen Kitzel oder Schmerz.

Im Hinblick auf diese Erfahrungen erklärte man zunächst diese Verschiedenheit der Wirkung aus einer specifischen Energie der Nerven. Man dachte sich diese begründet in einer Verschiedenheit der Molekularbewegung in den Nerven selbst. Der Reiz sollte in jedem Nerven einen anderen, specifischen Zustand der Erregung herbeiführen. Die Entdeckungen du Bois-Reymond's über die Erregungserscheinung an den Nerven, die sich bei allen übereinstimmend als negative Stromschwankung zeigt und keine qualitativen Unterschiede den specifischen Energien entsprechend erkennen lässt, scheint, auch in Uebereinstimmung mit anderen Beobachtungen, die Annahme eines specifischen Reizzustandes der Nerven auszuschliessen.

Wir werden dadurch veranlasst, die specifischen Erfolge der Nervenerregung als bedingt anzusehen, nicht durch die Nerven und eine specifische Art ihrer Erregung, sondern durch die nervösen Centralorgane, welchen die Erregung zugeleitet wird. Jedes der nervösen Centralorgane, welche durch die Nerven erregt werden, ist nur im Stande, eine bestimmte Empfindung — die einem inneren Bewegungszustande entspricht — zu vermitteln. Derselbe Reiz wird, wenn er verschiedene Centralorgane trifft, nach der specifischen Energie jedes einzelnen gedeutet.

Der eigentliche specifische Empfindungsvorgang, den wir bei unbefangener Betrachtung in die Sinnesapparate zu verlegen gewöhnt sind, findet also stets nur central statt. Das Auge wie alle anderen Sinnesorgane empfindet Nichts. Durchschneiden wir den Optikus, so dass damit die Leitung zwischen Auge und seinem empfindenden Centralorgane unterbrochen ist, so entstehen nach wie vor Bilder auf der Netzhaut, welche äusseren Gegenständen entsprechen, wodurch die letzten Endigungen des Sehnerven erregt werden, aber die Seele selbst empfindet Nichts, der Patient ist blind. Auch der Nerv selbst ist zur Empfindung unvermögend. Schneiden wir einen sensiblen Nerven durch und quetschen oder galvanisiren sein peripherisches Ende, so wird dadurch keine Empfindung erregt. Es liegt also nicht in den Sinnesorganen, nicht in den etwaigen specifischen Erregungszuständen der Nerven der Grund, warum wir einmal die Nervenerregung Licht, das andermal sauer nennen, der Grund dafür liegt einzig

und allein in den reizpercipirenden Gehirnorganen selbst, zu denen die Nervenleitung geschieht. So rechtfertigt sich die oft gemachte Behauptung, dass, wenn es gelänge, den Optikus und Akustikus zu durchschneiden und ihre Enden gekreuzt zusammen zu heilen, wir bei einem Concerte Licht- und Feuererscheinungen, bei einem Feuerwerke Ton- oder Geräuschempfindungen bekommen würden.

Muss aus irgend einem Grunde ein krankhaftes Auge exstirpirt werden, so erregt der Schnitt durch den Sehnerven, wenn derselbe trotz der Augenerkrankung noch erregbar ist, eine blendende Feuererscheinung. Der Mensch ist dann noch nicht vollkommen blind. Er hat scheinbar an dem ausgeschnittenen Auge noch Lichtempfindungen, er glaubt noch mit ihm zu sehen; solche Patienten sehen Lichter, Feuerkreise, tanzende Gestalten. Dieser Zustand, der auf einer directen krankhaften Erregung des Sehnerven beruht, dauert so lange, bis dieser durch Nichtgebrauch degenerirt ist, wie dieses bei allen Organen durch lange Unthätigkeit eintritt. Auch dann ist aber ein solcher Mensch noch nicht vollkommen blind. Solange sein inneres Gesichtsorgan im Gehirne, dessen Erregungszustand von ihm bisher als durch äussere Lichterscheinungen hervorgerufen gedeutet wurde, noch erregbar ist durch directe Reize, z. B. durch vermehrten Blutzufluss, erscheint einem solchen Blinden wenigstens noch im Traum die Welt hell und farbig, und nur der wache Tag ist in Schwarz gekleidet. Erst wenn die zerstörenden Einwirkungen des Nichtgebrauches auch dieses innere Sinnesorgan zerstört haben, wird sein Leben ein vollkommen dunkles.

Die Erziehung der Seele durch die Sinneseindrücke.

Die ganze Annahme der specifischen Energien hat auch in der eben vorgetragenen Fassung noch etwas Gezwungenes. Wie sollen wir uns diese specifische Molekularbewegung in den Ganglienzellen der Gehirnorgane vorstellen? Man hat gesagt, diese Verschiedenheiten lägen eben im verschiedenen Bau der Gehirnorgane begründet, von denen das eine schmeckt, das andere riecht aus demselben Grunde, warum ein Muskel zuckt, eine Drüse Flüssigkeit absondert, auf denselben Nervenreiz. Derartige Bauverschiedenheiten der Gehirnorgane haben sich nun aber für jetzt, wie es scheint, noch nicht auffinden lassen. So neigen sich denn jetzt Einige der Annahme zu, dass diese specifischen Energien der Hirnorgane das Resultat einer wahren Erziehung von aussen her sind. Die Seele, die gewöhnt ist, vom Sehnerven nur Lichteindrücke von der Aussenwelt her vermittelt zu erhalten, verlegt jeden von dorther anlangenden Reiz in den ihr aus anderen unterstützenden Sinneswahrnehmungen bekannten Ort der normalen Erregung: in das Auge oder vielmehr auch aus diesem heraus in die sichtbare Umgebung und nennt ihn Licht. Ebenso ist es vielleicht mit den übrigen centralen Sinnesapparaten.

Möglicherweise existirt also die besprochene Fähigkeit der Gehirnorgane, auf specifische Reize specifische Vorstellungen zu erwecken, nicht von Anfang an. Man musste diese Behauptung prüfen können, wenn man die erste selbstthätige Wirkung der Sinne vor ihrer Erziehung zum Object einer naturwissenschaftlichen Untersuchung machen könnte; bei niederen Thieren z. B. in den Augen der Blutegel vermischen sich wirklich noch die Reize der beim Menschen getrennten Sinne in einem Sinnesorgan: Uebergangssinnesorgane (J. Ranke).

Soviel steht fest, dass alle Sinneseindrücke, die ja nach dem Gesagten vorzüglich in Veränderungen unserer Gehirnorgane beruhen, zu Anfang rein subjectiv sein müssen, dass sie nur den zwei einfachsten Qualitäten: angenehm und unangenehm, entsprechen können. So

jauchzt ein Kind bei dem Erblicken der Lampe ebenso wie bei dem Schalle einer Trompete, wie bei der Erregung einer ihm angenehmen Geschmacks- oder Gefühlsempfindung. Die Erziehung ist lang und peinlich, bis sich im Menschen das Bewusstsein des Gegensatzes von Subject und Object ausgebildet hat; bis er gewisse Alterationen seines eigensten Wesens, Zustände seines Nervensystemes als von äusseren Objecten erregt, als Objectives von anderen Alterationen ganz ähnlicher Art, von anderen Nervenzuständen als von dem Subjectiven zu trennen vermag. Ist aber die Erziehung vollendet, so gehört eine philosophische Betrachtung dazu, um zu verstehen, dass wir nicht den gesehenen oder gefühlten Gegenstand direct, sondern eine durch ihn gesetzte Veränderung unseres Körpers empfinden. Eine Reihe von Qualitäten, die nur subjectiver Natur sind, schreiben wir bei der gewöhnlichen Betrachtungsweise dem Objekt selbst zu. Wir nennen z. B. einen Körper gefärbt. Die Farbenunterschiede des Lichtes bestehen objektiv in einer bestimmten Geschwindigkeit der Aetherschwingungen, die unser Auge treffen und seine Netzhaut erregen: ausser uns ist also Nichts farbig, man müsste denn die Annahme einer gefärbten Bewegung für nicht sinnlos halten. Allen unseren meist schlechthin objektiv genannten Sinneswahrnehmungen kleben ähnliche Fehler aus Subjectivismus entspringend an.

Es ist schon oben angedeutet worden, dass wir in Folge des Ineinandergreifens der verschiedenen Wahrnehmungen, die wir den verschiedenen Sinnesorganen verdanken, von dem Orte der Reizeinwirkung, die unsere verschiedenen Gehirnorgane erregen, uns eine Vorstellung machen können. Diese Vorstellung über den Ort der Erregung ist unter normalen Verhältnissen auffallend genau. Mit überraschender Schärfe sind wir im Stande, den Ort der Reizung an unserer Körperoberfläche zu bestimmen. Bei dem Auge ist diese Lokalkenntniss noch weit auffallender. Die Psyche hat stets im wachen Zustande eine Empfindung des jeweiligen Erregungszustandes aller ihrer sensiblen Nerven, sowie von der Lage aller Endorgane derselben, welche die normale Erregung vermitteln. Ausnahmen davon, wie sie durch Transplantation von Hautlappen oder die Kreuzung der Finger gesetzt werden, dienen nur dazu, diesen Satz noch mehr zu erhärten. Diese Ortskenntniss ist ebenso ein Resultat der Erziehung der Seele, wie ihre anderen eben besprochenen Fähigkeiten. Es ist möglich, bei jenen Transplantationen des Stirnlappens nach und nach das Gefühl so zu modificiren, dass die neue Nase nun nicht mehr an der Stirne, sondern an ihrer neuen Stelle empfunden wird. Bei dem Auge u. a. a. O. treffen wir auf noch schlagendere Beweise für diesen Satz.

Nicht jede Empfindung kommt zum Bewusstsein.

Unter normalen Umständen scheint nur ein Reiz gleichzeitig zur Perception kommen zu können. Die scheinbare Gleichzeitigkeit verschiedener Empfindungen rührt wohl nur von einem raschen Wechsel der Erregung der verschiedenen Organe her. Es können Erregungsvorgänge in unseren nervösen Centralorganen stattfinden, ohne dass wir eine Notiz davon nehmen. Damit die Erregung eine wirkliche Empfindung auslöse, müssen wir unsere Aufmerksamkeit auf die stattfindende Erregung lenken. Es kann das willkürlich geschehen, meist jedoch erfolgt es unwillkürlich; ein starker Reiz erzwingt Aufmerksamkeit.

So steht also die Empfindung bis zu einem gewissen Grade unter der Gewalt des Willens. Durch einen heftigen Schmerz oder auch schon dadurch, dass wir unsere Gedanken auf einen bestimmten Gegenstand concentriren, werden wir gefühllos für die gleichzeitig auf uns einwirkenden schwächeren sensiblen Reize. Aus allen Kriegsspitälern werden Fälle erzählt, dass Verwundete Verletzungen an sich auch sehr schmerzhafter Art nicht bemerkt hatten, über eine andere grössere Wunde. In der Aufregung des Gefechtes oder des plötzlichen

Schreckens kommt es vor, dass Verletzungen gar nicht wahrgenommen werden. Das heroische Ertragen von Schmerz beruht, wie die allzugrosse Empfindlichkeit für Schmerzen, auf grösserer oder geringerer Fähigkeit, der Aufmerksamkeit willkürlich eine bestimmte von dem Schmerz abgewendete Richtung zu geben. Wir werden in der Folge im Gehirn ein Hemmungsorgan kennen lernen, welches in Folge seiner Erregung durch den Willen gewisse auf sensible Reize sonst regelmässig eintretende Bewegungen: Reflexbewegungen, zu hemmen vermag. Es scheint nöthig zu sein, ein analoges Hemmungscentrum für das Zustandekommen der Empfindung anzunehmen, das auch willkürlich in Erregungszustand versetzt werden kann.

I. Der Tastsinn.

Tastorgane und ihre Erregung.

Die grösste Anzahl der empfindenden Nerven endigt in der Haut.

Es sind zwei wesentlich ihrer Qualität nach gesonderte Empfindungsarten, welche zwei verschiedenen specifischen Energien des Gehirnes entsprechen, die wir durch die Haut vermittelt sehen:

Druckempfindung und
Temperaturempfindung.

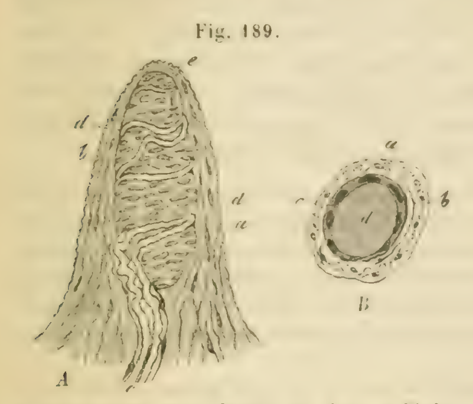
Allen sensiblen Nerven gehört gleichmässig die Wollust- und Schmerzempfindung an. Die erstere wird bei den beiden ebengenannten Empfindungsarten durch schwächere, intermittirend einwirkende Reize hervorgerufen; der Schmerz entsteht durch andauernde schwächere oder durch momentane oder auch intermittirende starke Erregung. Je nach der specifischen Energie des sensiblen Nerven ist das durch ihn vermittelte Lust- und Schmerzgefühl ein specifisches.

Die Erregung der für Druckempfindungen vermittelst ihrer Endorgane am leichtesten anzusprechenden Nerven durch andere als taktile Reize ruft stets den Druckempfindungen analoge Gefühle hervor. Die betreffende Nervengattung kann ausser durch Druck auch noch durch Electricität, vielleicht auch durch chemische Agentien erregt werden. Die dadurch erzeugten Gefühle sind von dem des Kitzels, der normal aus rasch sich folgenden Druckschwankungen entsteht, nicht verschieden. Auch chemische Reize bringen mitunter ein derartiges Kitzelgefühl hervor, das von dem durch den normalen Reiz erzeugten nicht unterschieden werden kann.

Die Empfindungsorgane, welche die Berührung der Hautstellen in einen Nervenreiz umwandeln, sind nach den neueren Angaben (A. v. Mojsisovics u. A.) theils einfache Anschwellungen der feinsten zwischen den Epithelialzellen verlaufenden Nervenfasern (cf. Tasthaare), theils grössere, aus Nervenfasern und accessorischem Gewebe gebildete, mehr oder weniger kugelige Gebilde, Sinnesorgane, dem Wesen nach wohl alle gleich gebaut, obwohl sie sich durch Grösse und Gestalt nicht unbeträchtlich von einander unterscheiden. Es gehören hierher die Pacini'schen Körperchen, welche unter der Haut im subcutanen Bindegewebe eingebettet liegen, besonders unter der Haut der Hohlhand und

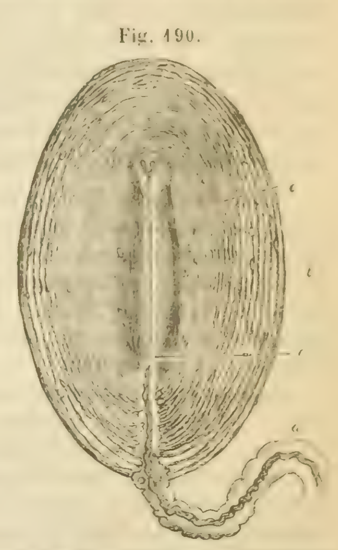
der Fusssohle, sonst aber auch noch vielfältig besonders an den Gelenknerven, im Mesenterium der Katze etc. gefunden werden. Diese Körperchen haben eine makroskopische Grösse von 1—4 mm. (Fig. 190). Ihnen gewissermassen ähnliche, aber von mikroskopischer Kleinheit finden sich in den Papillen der Cutis eingelagert; von den Papillen enthalten einige nur Gefässschlingen, andere die MEISSNER'schen Tastkörperchen. Am häufigsten finden sich die letzteren in der Haut der Finger und Zehen, sowie in Hohlhand und Fusssohle, ihre Häufigkeit auf gleichgrossen Hautflächen verschiedener Körperstellen ordnet sich in die gleiche Reihe, welche wir unten für die Empfindlichkeit der verschiedenen Hautstellen kennen lernen werden. Besonders in Schleimhäuten fand W. KRAUSE

Fig. 189.



A Längenansicht einer Papille der Haut, *a* Rindenschicht derselben mit Saftzellen und feinen elastischen Fasern, *b* Tastkörperchen mit seinen queren Kernen. *c* Zutretendes Nervenstämmchen mit kernhaltigem Neurilem. *d* Nervenfasern, die das Körperchen umspinnen. *e* Scheinbares Ende einer solchen. *B* eine Papille von oben, so dass die Mitte im scheinbaren Querschnitt gesehen wird. *a* Rindenschicht der Papille mit Saftzellen. *b* Nervenfaser. *c* kernhaltige Hülle. *d* Tastkörperchen. *e* innere feingranulirte Substanz desselben. Vom Menschen. 350mal vergr. Mit Essigsäure.

Fig. 190.



PACINI'sches Körperchen aus dem Gekröse der Katze. *a* Nerv mit Perineurium, den Stiel bildend; *b* die Kapselsysteme; *c* der Axencanal oder Innenkolben, in dem getheilt die Nervenröhre endigt.

in der Submucosa analoge Gebilde, die er Nervenendkolben nennt. Derselbe Forscher constatirte, dass in der Synovialmembran der menschlichen Fingergelenke die sensiblen Nervenfasern mit rundlich ovalen »Gelenknervenkörperchen« endigen, von denen die grössten eben noch mit freiem Auge sichtbar sind (0,15—0,25 mm lang und 0,09—0,15 mm breit). Sie sind meist etwas abgeplattet, bestehen aus einer längsstreifigen Bindegewebshülle, die ovale Kerne resp. endothelähnliche glatte Zellen enthält. Im Innern zeigen sich eine Anzahl markloser verästelter Terminalfasern eingelagert in eine feingranulirte kernreiche Substanz. Es sind das Zwischenglieder zwischen PACINI'schen und MEISSNER'schen Körperchen, mehr den ersteren sich zuneigend.

Die Nervenendkolben sind kleine ovale oder kugelige Bläschen, die eine bindegewebige Hülle und einen homogenen Inhalt erkennen lassen. In die Hülle finden sich Kerne eingelagert; in das Innere des Bläschens tritt eine Nervenfaser ein und endet dort zugespitzt. Die Tastkörperchen, welche E. GEBER auch in der

Schleimhaut der Menschenzunge auffand, sind ebenfalls Bläschen von ovaler Gestalt, mit dem Längendurchmesser senkrecht auf der Cutis aufstehend. Man kann auf Durchschnitten an ihnen eine wohl ebenfalls bindegewebige, wie es scheint, geschichtete Hülle unterscheiden, die sich grob quergestreift durch querstehende Kerne von Bindegewebszellen (KÖLLIKER, GERLACH), hier und da etwas gekerbt zeigt (Fig. 189). In das Innere tritt reine markhaltige Nervenfaser ein, die dort nach MEISSNER und LANGERHANS mit »Endknospen«, Endanschwellungen endigen. Das makroskopische PACINI'sche Körperchen (Fig. 190) zeigt eine ovale Gestalt. In ziemlicher Zahl umgeben Bindegewebsschichten einen mit homogener Masse gefüllten Hohlraum, in welchen eine Nervenfaser eintritt, um dort entweder mit einem Knöpfchen oder in einige kurze Endzweige gespalten zu endigen. Das Neurilem zeigt sich schon vor dem Eintritt des Nerven geschichtet. Die Endverbreitung des Nerven scheint nur von dem Axencylinder herzurühren. GRANDRY fand eine sehr deutliche faserige Structur des Axencylinders, ebenso des Endknöpfchens, das aus feinkörniger Substanz besteht, gegen welche die divergirenden, aus einander laufenden Endfibrillen sich deutlich absetzen.

JOBERT fand MEISSNER'sche Tastkörperchen bei den anthropoiden Affen und in den Papillen der Fingerspitzen des Waschbärs. DITLEVSEN gibt an, dass bei Fröschen die sensiblen Nerven bis in die Oberhautzellen eindringen, wo sie mit Terminalzellen endigen, welche den nervenlosen Oberhautzellen vollkommen weichen, er stützt sich dabei auf die Entdeckung von Tastzellen durch F. MERKEL. Die am Schnabel der Ente von LEYDIG entdeckten Tastorgane besitzen nach L. RANVIER ein platten- oder münzenförmig verbreitertes Nervenendorgan, von Zellen vollkommen umhüllt.

Tasthaare. — Mit Anderen haben J. SCHOEBEL, JOBERT, BOLL u. a. die Tasthaare bei Thieren, Letzterer auch bei dem Menschen untersucht, sie stehen bekanntlich vorzugsweise an der Schnauze, aber auch an der Flughaut der Fledermäuse, am äusseren Ohr der Mäuse und der Igel, am Schwanz der Mäuse, Spitzmäuse und Ratten, an der Hufeisennase der Fledermaus; am oberen Augenlid des Menschen stehen ebenfalls solche Gebilde z. Th. von äusserster Kleinheit. Nach M. J. DIETL finden sich beim Wiesel und Eichhörnchen an der Streckseite des Ellbogens regelmässig 3 ausgebildete Tasthaare. Ueber die Endigung der Nerven an den Tasthaaren stimmen die Autoren noch nicht überein. Nach JOBERT treten die Nerven mit den Haarfollikeln in Verbindung an einem bestimmten, unterhalb der Talgdrüsen gelegenen Punkte. Die nackten, aus der Theilung der Primitivfasern büschelweise hervorgehenden Axencylinder endigen frei mit kleinen Anschwellungen. Nach REDTEL endigen die Nerven im Bindegewebe mit blassen birnförmigen Endkolben, welche der Wurzelscheide von aussen dicht anliegend die obere Hälfte des Follikelhalses umgeben. Bei Mäusen beschreibt JOBERT die Tasthaare sehr spitz, starr, an der Basis verschmächtigt, im Schaft verdickt, spindelformig, die sparsame Marksubstanz auf die unteren zwei Drittel des Haares beschränkt. Nach SCHOEBEL besitzen die Tasthaare statt der Haarzwiebel und Wurzelscheibe der sonstigen Haare einen soliden Wurzelkörper. (BONNET's Angaben cf. oben bei Haare.) PALADINO und LANZILOTTI-BOOSANTI studirten die Bewegungen der Tasthaare und den Nerveneinfluss auf dieselbe. Reizung des Facialis und Trigeminus brachten beim Pferd Bewegung der Tasthaare hervor, die erstere durch directe Reizung der zu diesen Tasthaaren gehenden quergestreiften Muskelfasern, die letztere durch Veränderung des Turgors des das Haar umgebenden cavernosen Gewebes.

Es ist keine Frage, dass die mehr oder weniger bläschenformigen Tastorgane für die Druckempfindung günstig gebaut sind. KRAUSE hat versucht experimentell nachzuweisen, dass eine verhältnissmässig kleine Veränderung des Lumens mit geschichteten Membranen umhüllter Bläschen — Tastkörperchen — schon eine nicht unbedeutende Druckschwankung in ihrem Inhalte hervorrufen müsse, welche wohl geeignet erscheint, als mechanischer Reiz fur den eingeschlossenen Nerven zu dienen. Er stellte diesen Organen ähnliche Gebilde aus mit

Wasser gefüllten Darmstücken dar und dehnte sie in der Längenrichtung aus. Er sah, dass sie dabei ihr Lumen verkleinerten und damit einen Druck auf ihren Inhalt ausübten. Um diese Verkleinerung des Lumens zu ermöglichen, muss die Elasticität der Wandung nach einer Richtung geringer sein als nach der andern, wie dies bei den Darmstücken der Fall ist, und wie es KRAUSE für die fraglichen Organe voraussetzt.

Gestaltsveränderungen der Tastorgane können entweder durch von aussen wirkenden Druck oder Zug, oder durch Zusammendrücken der Organe durch in der Haut gelegene Ursachen hervorgerufen werden. Dadurch kann electrische Reizung, welche in der Cutis gelegene Organe: Blutgefässe, organische Muskeln etc. contrahirt oder erweitert und somit die Druckverhältnisse in den Papillen mannigfach umgestaltet, die Tastnerven erregen. Chemische Reize der Haut bringen durch Diffusion, Anschwellen der Epidermiszellen, stärkere Füllung der Blutgefässe ebenfalls derartige Druckschwankungen hervor, so dass die letzte Ursache des Reizes der Tastnerven stets die gleiche sein kann, wofür auch die erwähnte überraschende Gleichheit der Empfindung spricht. Wirken Electricität oder chemische Reize sehr stark ein, so bekommen wir keine den Tastempfindungen (Kitzel) analoge Gefühle, sondern **Schmerz**, den wir aber auch durch intensiven mechanischen Reiz erzeugen können. Nach der Ansicht von JOHANNES MÜLLER wird das Schmerzgefühl der Haut durch die Tastnerven vermittelt. Es sind Fälle bekannt, in denen durch krankhafte Ursachen, wie bei VIEUSSEN's Selbstbeobachtungen, das Schmerzgefühl, nicht aber das Tastgefühl aufgehoben war. Ebenfalls durch Selbstbeobachtung kann ich die weitere Angabe bestätigen, dass ein analoger Zustand auch bei Chloroform- oder Aethernarkose eintreten kann. Die Schmerzempfindung fehlt, während man doch noch Empfindungen von schwächeren Reizen hat: Tastempfindungen, Gehörsempfindungen etc. Die Reize werden sonach in diesem Zustande nach dem Gehirn zu geleitet, erreichen hier aber nicht die Intensität, um Schmerzempfindung zu veranlassen. Die Annahme eigener »Schmerznerven« ist unnöthig. Auch die Stämme sensibler oder gemischter Nerven sind durch Druck und pathologische Einflüsse schmerzhaft erregbar.

Die Empfindlichkeit der Haut.

E. H. WEBER prüfte die absolute Empfindlichkeit der Haut gegen Druckschwankungen. Er belastete eine Hautstelle mit zwei verschiedenen Gewichten nach einander und fand dadurch den kleinsten Unterschied in den Gewichten, den man noch zu unterscheiden vermag, für die einzelnen Hauptpartien nicht unwesentlich verschieden. Dieser Nachweis kann auch durch andere Methoden (GOLTZ u. A.) geführt werden, es gelingt, eine Scala der absoluten Empfindlichkeit der verschiedenen Hautstellen des Menschen zu entwerfen (cfr. unten).

Als wichtigste Function des Tastsinns erscheint die Hülfe, welche er uns zur Beurtheilung der Gestalt der Körper gewährt, die mit der Haut in Berührung kommen. Wir sind im Stande, uns ein Urtheil über die Gestalt der Körper zu verschaffen durch einfache Berührung, besser noch, wenn wir über die Körperoberflächen mit verschiedenen Hautstellen hingleiten. Die tägliche Erfahrung lehrt, dass zu diesem Zwecke nicht alle Hautstellen gleich geschickt sind, bei weitem am ausgebildetsten zeigt sich der Tastsinn nach der gewöhnlichen Beobachtung in den Fingerspitzen und der Handfläche. Es stimmt das mit dem Resultate der mikroskopischen Untersuchung zusammen, welche die Tastorgane, MEISSNER'sche Tastkörperchen, an den genannten Stellen in relativ grösster Anzahl aufgefunden hat. Die Gestalt der uns berührenden Körper beurtheilen wir nach dem verschieden starken, an verschiedenen Orten der Hautfläche einwir-

kenden Druck. Rasche Abwechselung von Druck und Druckruhe bei dem Betasten der Körper deuten wir als eine gekerbte oder sonst rauhe Oberfläche; eine glatte Oberfläche, über welche wir mit den Tastorganen hingleiten, veranlasst ein andauernd gleichmässiges Druckgefühl. Gewisse Veränderungen der Berührungsfläche des betasteten Körpers und unserer Haut während der mit leichtem Drücken verbundenen Berührung deuten wir als durch Flüssigkeiten, oder durch mehr oder weniger weiche Substanzen hervorgerufen; Mangel solcher Veränderungen spricht für harte Körper. Die räumliche Ausdehnung der Körper messen wir vermittelst des Tastsinnes entweder dadurch, dass wir sie ganz zu umgreifen suchen, oder über die ganze Ausdehnung ihrer Flächen mit unseren Tastorganen hingleiten, manchmal auch indem wir sie gleichzeitig mit verschiedenen Hautstellen, z. B. mit zwei Händen betasten. Auf die nähere Erklärung des letzteren Vorganges können wir erst später eingehen; er setzt voraus, dass wir eine beständige genaue Vorstellung von der relativen Lage unserer einzelnen Körpertheile zu einander besitzen, welche wohl hauptsächlich durch das Muskelgefühl vermittelt wird (S. 791 und unten).

Zu den übrigen eben genannten Wahrnehmungen ist eine genaue Ortskenntniss der Psyche auf der Oberfläche ihres Körpers erforderlich. Wir sind im Stande, mit überraschender Genauigkeit den Ort einer stattgehabten Berührung an der Hautoberfläche anzugeben. E. H. Weber hat darüber messende Versuche angestellt. Er setzte einen Zirkel mit abgestumpften Spitzen auf die Haut auf bei geschlossenen Augen und bestimmte für die verschiedenen Hautstellen den Abstand, den beide Zirkelspitzen von einander haben dürfen, um bei gleichzeitigem Anlegen an die Haut eben zwei gesonderte Empfindungen zu geben. Die Resultate dieser Untersuchung sind für verschiedene Hautstellen sehr verschieden. Man kommt bei Anstellung dieser Versuche zu folgender Tabelle nach Weber, welche in den absoluten Grössen bei verschiedenen Menschen Schwankungen erleidet, deren relative Werthe sich jedoch stets wiederholen. Die Feinheit des Gefühls an den verschiedenen Hautstellen ist in der Tabelle nach dem Abstand der Zirkelspitzen angegeben, welcher nöthig ist, um zwei, nicht eine Empfindung hervorzurufen.

Hautstelle	Abstand
Zungenspitze	1 mm
Volarfläche des dritten Fingergliedes	2 -
rothe Oberfläche der Lippen und Volarfläche des zweiten Fingergliedes	4 -
Dorsalfläche des dritten Fingergliedes, Nasenspitze und Volarfläche über den Capitula oss. metacarpi	6,5 -
Zungenrücken 1″ von der Spitze, nicht rother Theil der Lippen, Rand der Zunge 1″ von der Spitze, Mittelhand des Daumens	9 -
Spitze der grossen Zehen, Dorsalfläche des zweiten Fingergliedes, Volarfläche der Hand, Wangenhaut, äussere Oberfläche der Augenlider	11 -
Schleimhaut des harten Gaumens	13 -
Haut über dem vorderen Theile des Jochbeines, Plantarfläche des Mittelfusses der grossen Zehen, Dorsalfläche des ersten Fingergliedes	15 -
Dorsalfläche über den Capitula oss. metacarpi	17 -
Schleimhaut am Zahnfleisch	20 -
Haut hinten über dem Jochbein, unterer Theil der Stirn	22 -
unterer Theil des Hinterhauptes	26 -
Handrücken	28 -

Hals unter dem Unterkiefer, Scheitel	30,5 mm	
an der Kniescheibe	35	-
Haut über dem Heiligenbein, am Acromion, Gesäss, Vorderarm, Unterschenkel beim Knie und Fuss, Fussrücken bei den Zehen	39	-
auf dem Brustbein	44	-
am Rückgrat bei den fünf oberen Rückenwirbeln, beim Hinterhaupt, in der Lendengegend	52	-
an der Mitte des Halses, des Rückens, in der Mitte des Arms und des Schenkels	65,5	-

Die oben erwähnte Scala für die absolute Empfindlichkeit ist der hier gegebenen ganz ähnlich mit der einzigen Ausnahme, dass die Zungenspitze hier nicht die erste Stelle in der Empfindlichkeit einnimmt.

Das Vermögen, die Empfindungen zu lokalisiren, Raumsinn.

Die geringste Entfernung, welche an verschiedenen Hautstellen gesondert empfunden wird, ist an einigen Hautstellen, z. B. an den Extremitäten, in der Querrichtung kleiner als in der Längenrichtung. Man kann bei derartigen Versuchen von einem Centrum aus nach der Peripherie die zweite Zirkelspitze ansetzen und kann auf diese Weise die Hautstellen umkreisen, welche bei der doppelten Berührung noch eine einfache Empfindung geben; man kommt dabei meist zu einer kreisförmigen Gestalt der Hautstellen, so dass man von »Empfindungskreisen« sprechen kann. Diese Empfindungskreise sind aber an den Extremitäten nach dem oben Gesagten nicht rund, sondern oval, der grössere Durchmesser liegt in der Längenrichtung der Glieder (cf. unten).

Die Grösse der Empfindungskreise ist nicht etwas absolut Feststehendes. Bei grösserer Uebung und Aufmerksamkeit können sie verkleinert werden, so dass sie im Allgemeinen bei Blinden von geringerem Umfang gefunden werden, als bei Sehenden. Setzt man die Zirkelspitzen nicht gleichzeitig, sondern nach einander auf, so findet man die Empfindungskreise etwas kleiner (Czermak). Als Mittelpunkt des Empfindungskreises ist der berührte Punkt zu betrachten. Es ist selbstverständlich, dass sich um jeden ganz beliebig berührten Punkt ein derartiger Empfindungskreis ziehen lässt, so dass man nicht in den Irrthum verfallen darf, als wäre die ganze Hautoberfläche in fixe, neben einander liegende derartige Felder von verschiedener Grösse eingetheilt.

Schreiben wir wie oben der Psyche eine fortwährende Vorstellung von dem Erregungszustande aller ihrer Nervenendigungen in der Haut und deren relativer Lage zu einander zu (S. 786), so verstehen wir, wie mit Hülfe dieser Vorstellung Tastempfindungen gesondert wahrgenommen werden können. Zwei sehr nahe neben einander liegende Endigungen von Fasern der Tastnerven bringen durch das Centralorgan zwar gesonderte und verschiedene Empfindungen hervor, es ist zwar jede mit einem besonderen Lokalzeichen versehen, aber diese Unterschiede sind so gering, dass sie nicht von einander getrennt werden können. Von einem weiter abgelegenen Nervenendorgane ist dagegen die hervorgerufene Empfindung schon so stark verschieden, dass sie, auch ohne gesteigerte Empfindungsübung, als eine andere aufgefasst werden kann. Die Empfindungskreise haben somit keine feststehende anatomische Basis, sie können mit der Uebung veränderlich sein; wenn wir uns gewöhnen, auch auf kleinere Unterschiede in der Empfindung noch zu achten, können wir auch von zwei sich näher liegenden Endorganen noch die Empfindung gesondert auffassen. Alle Uebung kann jedoch selbstverständlich den relativen Mangel an Sinneswerkzeugen in den unempfindlicheren Hautstellen nicht ausgleichen, so dass die dadurch hervorgerufenen Unterschiede der Empfindlichkeit an den verschiedenen Stellen unserer Körperoberfläche niemals verschwinden können.

Man hat, insofern die Psyche ein Bewusstsein von dem Zustand und der Lage der einzelnen Empfindungsorgane der Haut besitzt, die Oberfläche des Körpers (analog dem »Gesichtsfeld«

»Tastfeld« genannt. Die Lokalkenntniss der Psyche auf ihrem Tastfelde ist etwas Erlerntes. So genau sie sich bei Erwachsenen zeigt, so haben doch Kinder dieses Lokalisirungsvermögen für Empfindungen auf ihrer Hautoberfläche nur in sehr unvollkommenem Grade, sie vermögen den Sitz ihrer von der Haut ausgehenden Empfindungen und Schmerzen nur sehr wenig genau anzugeben. Die angeführte Beobachtung bei Verlagerung von Hautstellen, in welchen sich nach längerer Zeit das Ortsgefühl den neuen Verhältnissen anpasst, ist ebenso ein Beweis für die gemachte Behauptung. Trotz des geringeren Ortssinnes will man bei Kindern die Empfindungskreise kleiner gefunden haben als bei Erwachsenen, was sich aus der gleichen Anzahl auf einen geringeren Raum, der kleineren Körperoberfläche entsprechend, zusammengedrängter Endorgane erklären lassen würde. Nach KRAUSE soll der Abstand der Zirkelspitzen, deren Berührung eben gesondert empfunden wird, im Mittel etwa 12 Tastkörperchen umfassen, so dass also erst die von dem ersten und dreizehnten vermittelten Empfindungen gesondert aufgefasst werden können. Nach dieser Angabe wäre die anatomische Grundlage zur zwölffachen Verfeinerung unserer Ortsempfindung vorhanden, ein Ausbildungsgrad, welcher bei der Haut jedoch an keiner Stelle erlangt wird, während er von den empfindenden Endorganen des Auges in Wahrheit erreicht zu werden scheint.

Nach VIERORDT steht die Feinheit des Raumsinnes einer Hautstelle in Beziehung zur Beweglichkeit des betreffenden Körpertheils. KOTTENKAMP und ULRICH haben für die obere, PAULUS für die untere Extremität mit dieser Annahme übereinstimmende Experimentalergebnisse bekommen. Die Haut über den Gelenken zeigte eine relativ grosse Empfindlichkeit.

Eigentliche Tastempfindungen können in dem sensiblen Nerven nur von den Endorganen aus erregt werden. Reizen wir die Stämme, so haben wir zwar eine Empfindung, die wir betreffenden Falles in den Ausbreitungsbezirk des Nerven verlegen, es sind das aber keine Tast-, sondern meist Schmerzempfindungen.

II. Der Temperatursinn.

Die zweite Art der von der Haut vermittelten Empfindungen ist die Temperaturempfindung; sie ist von der Tastempfindung specifisch verschieden, so dass sie wahrscheinlich durch andere Nervenendorgane, vielleicht durch die neuerdings von LANGERHANS beobachteten, an die Endorgane der höheren Sinnesnerven erinnernden Nervenendigungen zwischen den Epidermiszellen vermittelt wird. Für die Sonderung des Temperatursinnes von den anderen Gefühlsempfindungen der Haut sprechen ältere und neuere Beobachtungen. NOTHNAGEL sah bei einer Empfindungslähmung im Bereiche des Nervus ulnaris (durch Stoss an den Ellbogen) alle Qualitäten des Tastsinnes abgestumpft, während der Temperatursinn keine Unterschiede auf der kranken und gesunden Seite erkennen liess. BRÜCKE beobachtete, dass durch Temperaturreize unter Umständen andere Reflexe ausgelöst werden, als durch tactile Reize.

Die Empfindungen der Wärme und Kälte gehen bei ihrer Steigerung zuerst in Hitze- und Frostgefühl über, äusserste Kälte und Hitze wird gleichmässig als schmerzhaftes Brennen empfunden. Die Temperaturnerven können auch durch Electricität und chemische Einflüsse erregt werden. Der brennende Schmerz an der Haut durch die genannten Agentien ist kaum von dem durch Hitze hervorgerufenen zu unterscheiden. Das Wärme- und Kältegefühl wird hervorgerufen durch Abkühlung und Erwärmung der Haut. Es tritt unter der Einwirkung kalter oder warmer Körper auf die Haut ausser der directen Veränderung ihrer Eigenwärme noch eine secundäre unterstützende Erscheinung auf. Unter

dem Einfluss der Kälte contrahiren sich (wie alle Arterien) die arteriellen Gefässe der Haut, durch Wärme erweitern sie sich; dadurch wird der Blutzufluss zur Haut entweder gesteigert oder verringert, und Erwärmung oder stärkere Abkühlung mittelst der stärker oder geringer fliessenden Wärmequelle hervorgebracht. Contraction der Hautarterien im Fieberfrost ruft Kältegefühl hervor, obwohl die Gesammttemperatur des Körpers dabei eine abnorm gesteigerte ist.

Die Empfindlichkeit der Temperaturnerven für Temperaturschwankungen ist an den verschiedenen Körperstellen ähnlich verschieden wie das Tastvermögen. E. H. Weber suchte den kleinsten Unterschied auf in der Temperatur zweier die Haut berührender Körper, welcher noch wahrgenommen werden konnte; er kam dadurch zu einer Scala der Empfindlichkeit der Hauttheile, welche mit der Zungenspitze beginnt, wie die oben gegebene, und mit dem Rumpfe endigt; nur die Extremitäten ordnen sich nicht regelmässig ein. Die Temperaturunterschiede, welche noch als different wahrgenommen werden können, liegen zwischen + 10 und + 47°C. Höhere oder niedere Wärmegrade werden nicht mehr genau geschätzt; je weiter sie sich von den angegebenen Grenzwerthen entfernen, desto weniger gelingt eine Schätzung. Endlich macht der bei Berührung sehr heisser oder sehr kalter Objecte auftretende intensive Schmerz eine Unterscheidung vollkommen unmöglich. Nach Nothnagel liegt das feinste Unterscheidungsvermögen für Temperaturunterschiede zwischen 27° bis 33°C.; zwischen 33° bis 39° aufwärts und von 27° bis 14° abwärts sinkt die Feinheit der Temperaturempfindung nur langsam, während sie von 39° bis 49° aufwärts und von 14° bis 7° ziemlich schnell unsicher wird. Längere Zeit hindurch auf die Haut einwirkende Wärme oder Kälte beeinträchtigen die Feinheit des Temperatursinnes. Von Epidermis entblösste Haut reagirt auf Temperaturschwankungen lebhafter als die unversehrte.

Unsere Annahme, dass die Veränderung der Blutzufuhr zur Haut und damit zu den Endigungen der Temperaturnerven der normale Reiz für diese Organe sei, erklärt, wie electrische und chemische Reizung der Haut, welche die Blutzufuhr zu ihr verändern, scheinbare Temperaturempfindungen hervorzubringen vermögen. Auch zur Hervorrufung der Temperatur-Empfindung ist die Erregung der Endorgane unumgänglich nöthig. Reizen wir die Nervenstämme, in denen Temperaturnerven verlaufen, direct durch Kälte, so bekommen wir zwar eine Schmerz-, aber keine Temperaturempfindung. Am Ellenbogen liegt der Nervus ulnaris so nahe unter der Haut, dass er durch Eintauchen des Ellenbogens in eine Kältemischung leicht erregt werden kann. Man spürt dann, wie E. H. Weber zeigte, einen heftigen Schmerz, den wir nach den Principien der Sinnesphysiologie nicht in die gereizte Nervenstelle, sondern in ihre Endorgane in den Fingerspitzen verlegen. Dieser Schmerz, der sich in Nichts mit einer Temperaturempfindung vergleichen lässt, ist so stark, dass er das lokale Kältegefühl an der eingetauchten Hautstelle am Ellenbogen, das anfänglich vorhanden ist, ganz übertäuben kann.

Je rascher die Wärmeabgabe eines Stoffes ist, desto wärmer oder kälter erscheint er, da seine Einwirkung auf die Haut seinem Wärmeleitungsvermögen entsprechend eine intensivere oder weniger intensive in der Zeiteinheit ist. Metall oder Stein scheint demnach bei gleicher Temperatur kälter oder wärmer als Holz.

Die oft gemachte Behauptung, dass der Haut das Vermögen zur Schätzung der absoluten Temperatur abgehe, ist bis zu einem gewissen Grade unrichtig. Jeder Badediener, der die absolute Temperatur seines Bades bis zu 1 oder sogar 0,5° genau anzugeben vermag, wenn er seinen gekrümmten Ellenbogen in das Wasser hineinsenkt, führt den Gegenbeweis. Das absolute Thermometer, das hierbei verwendet wird, ist die konstante Eigentempe-

ratur des gesunden Menschen, wie sie sich in den vor Wärmeabgabe möglichst geschützten Körperstellen findet. Eine solche Stelle mit konstanter Temperatur ist nicht nur die Achselhöhle, sondern auch die Ellenbogenbeuge. Wenn wir, wie es bei der Temperaturmessung des Bades geschieht, den Arm im Gelenke beugen, so setzen wir dort die Wärmeabgabe dadurch so weit herab, dass diese Stelle annähernd die Normaltemperatur des Körpers erlangt. Es bedarf jedoch nach dieser Richtung für die absolute Schätzung ebenso gut einer fortgesetzten Erziehung der Sinnesorgane wie nach anderen. Dieses absolute Wärmeschätzungsvermögen schwankt in den gleichen Grenzen wie das oben besprochene relative aus dem gleichen Grunde. Da das hier gebrauchte Thermometer die normale Eigentemperatur der Haut ist, so ist es einleuchtend, dass das Schätzungsvermögen nach den Schwankungen der Eigentemperatur sich modificiren müsse. Die vollkommen abnormen Zustände im Fieberfrost, in welchem die Hauttemperatur gegen die normale erhöht gefunden wird, können die Behauptung des absoluten Schätzungsvermögens nicht entkräften.

Czermak versuchte die Gefühlskreise für Tastempfindungen bei gleichzeitigen Temperaturempfindungen zu bestimmen. Es zeigt sich, dass bei dem Zirkelversuche die Spitzen näher an einander gebracht werden können und doch noch gesondert empfunden werden, wenn die beiden Spitzen verschiedene Temperaturen haben; wenn sich also mit der Tastempfindung Temperaturempfindung verbindet. Es summiren sich beide Reize: der Druck- und Temperaturreiz zu einer verstärkten (doppelten) Erregung des Centralorganes von der getroffenen Stelle aus, so dass zwei an sich qualitativ sehr ähnliche Druckempfindungen durch die Hinzufügung der Temperaturempfindung zu der einen hinlänglich verschieden werden, um gesondert auffassbar zu sein. Aus einem ähnlichen Grunde erklärt es sich, warum man die Empfindungskreise kleiner bekömmt, wenn die eine der aufgesetzten Zirkelspitzen stumpf, die andere spitz ist. Nach den Druckversuchen Weber's mit verschieden temperirten Gewichten erscheint ein kälteres Gewicht schwerer als ein wärmeres, weil sich wie in den Versuchen Czermak's mit dem Druckreiz an der einen Stelle noch der Kältereiz zu einer gesteigerten Empfindung verbindet.

In den letzterwähnten Fällen wurde die leichtere Differenzirung zweier Reizempfindungen vermittelt durch eine doppelte Reizung an einer Stelle, wodurch ein Summeneffect aus zwei der Qualität nach verschiedenen Reizen zu Stande kam. Der Effect eines sensiblen Reizes nimmt auch dann zu, wenn eine grössere Anzahl von Nervenendigungen gleichzeitig von dem gleichen Reiz getroffen wird. Tauchen wir in zwei Gefässe von gleicher Temperatur in das eine die ganze Hand, in das andere nur einen Finger, so scheint das erstere wärmer als das andere zu sein. Die vielen gleichzeitigen Reize summiren sich zu einem grösseren Effecte als die weniger zahlreichen, obwohl die absolute Reizstärke jedes einzelnen Nervenendorganes in beiden Fällen die gleiche ist. Das Vermögen, relative Unterschiede der Temperaturen zu schätzen, wird unter diesen Versuchsbedingungen soweit beeinträchtigt, dass man zwei Temperaturen in verkehrter Weise für verschieden hält, als sie es in Wahrheit sind. Man hält unter diesen Umständen nach Weber Wasser, welches + 29° R. warm ist, in das man die ganze Hand eintaucht, für wärmer als Wasser von + 32° R., in das man nur den Finger hereinbringt. In dieselbe Täuschung verfällt man, wenn man Wasser von + 17° R. und + 19° R. auf dieselbe Weise untersucht.

E. H. Weber vermuthete, dass für benachbarte Hautstellen auch jene Theile des Gehirnes, zu welchen die Eindrücke von diesen Hautstellen aus fortgepflanzt werden, in nächster Nachbarschaft liegen. Er nimmt dann weiter an, dass die Bewegungen in benachbarten centralen Empfindungsorganen sich nicht nur sehr ähnlich sind, sondern dass sie schwer eine von der anderen weggekannt werden können, sie fliessen vielleicht auch, da ein Centralorgan nächstbenachbarte mit in seine Bewegung hineinzieht, in einander über.

III. Gemeingefühl.

Die sensiblen Nervenendigungen in den übrigen Körperorganen, mit Ausnahme der Sinneswerkzeuge und der Haut, sind noch unvollkommen bekannt. Die Gefühlsempfindungen in den inneren Körperorganen sind einerseits in mancher Beziehung, besonders in den Muskeln, den Tastempfindungen analog, andererseits sind die Nerven der inneren Organe, namentlich der Körperhöhlen, auch deutlich für Temperaturreize empfindlich. In der Unterleibshöhle rufen, nach den übereinstimmenden Aussagen der betreffenden Kranken, plötzlich erfolgende starke Blutergüsse durch Gefässzerreissungen ein Gefühl von Wärme und Druck hervor. Die Sehnen, Knorpel, Bindegewebe sind wie das Fettgewebe normal unempfindlich, die Knochen wenigstens für schwächere Reize, doch können, wie es scheint, in krankhaften Zuständen alle diese Organe, am lebhaftesten die Knochen, Schmerz erregen. Ueberhaupt kommt bei den inneren Organen vor Allem das Schmerzgefühl zur Empfindung. Ein ganz gesunder Mensch wird durch keine Empfindung über seine Körperanatomie, z. B. über die Lage seiner Eingeweide unterrichtet, während in Folge von Krankheiten das Bewusstsein von ihnen genaue Kenntniss erlangt. Von den Endorganen der sensiblen Nerven der betreffenden Organe sind die Vater'schen Körperchen im Mesenterium der Katzen, sowie dieselben Organe an den Gelenken Rüdinger, Rauber bekannt. In den Muskeln ist das Gemeingefühl, die Sensibilität, am stärksten und am feinsten ausgebildet, über ihre muthmasslichen sensiblen Nervenendigungen cf. oben. Die sensiblen Muskelnerven sind noch wenig erforscht. Man hat zu den Augenmuskeln, die bekanntlich ihre motorischen Nerven N. Oculomotorius, Trochlearis und Abducens erhalten, auch dünne Aeste eines Empfindungsnerven, des Ramus ophthalmicus des Trigeminus verfolgt. Unstreitig gehen auch zu den anderen Muskeln sensible Fasern, die sich den motorischen Nervenstämmen durch Anastomosen beimischen. Die verschiedene Anzahl derselben ist wohl der Grund der verschieden starken Ausbildung des Muskelgefühles in den verschiedenen Muskeln.

Das Muskelgefühl leistet uns in zwei verschiedenen Beziehungen sehr wesentliche Dienste. Es unterrichtet uns nicht nur stets von der jeweiligen Lage unserer Glieder und Hautstellen zu einander, es sind auch die Muskeln, vermittelst welcher wir den Grad der Anstrengung bemessen, welcher erforderlich ist, um den uns geleisteten Widerstand zu überwinden. Für gewöhnliche sensible Nervenreize zeigen sich die gesunden Muskeln nicht empfindlich. Man kann sie bei Operationen zerschneiden und quetschen, ohne dass, wenn nicht ein Nerv direct getroffen wird, Schmerzäusserungen dadurch veranlasst würden. Hingegen sind die Muskeln sehr empfindlich für das Gefühl der Anstrengung — Ermüdung —, welches in extremen Fällen in einen intensiven Schmerz übergehen kann. Hierher gehören die Schmerzen durch starke Muskelarbeit, die ungeheure Schmerzhaftigkeit tetanischer Krämpfe z. B. des Wadenkrampfes, der Uteruscontractionen. Vor Allem aber ist hier zu nennen das feine Gefühl, welches die durch den Willen hervorgebrachte Zusammenziehung der Muskeln begleitet.

Das Gefühl der Ermüdung, welches durch die anhaltende Muskelcontraction hervorgerufen wird, überdauert seine Ursache lange Zeit, wie man nach angestrengten Fussmärschen oder nachdem man seinen Arm längere Zeit unbewegt gestreckt hatte, an sich selbst zu beobachten Gelegenheit findet. E. H. Weber, dem wir auch hier die Grundversuche verdanken, hat zuerst den Gedanken ausgesprochen, dass die in Folge der Contraction auftretende chemische Veränderung der Muskelsubstanz das Empfindung und Schmerz erregende Moment sei. Seitdem wir wissen, dass die objectiven Ermüdungserscheinungen diese Ursache haben, gewinnt diese Anschauung sehr an Gewicht. Bichat sah, wenn er reizende Flüssigkeiten, wie Tinte, verdünnte Säuren oder Wein in die Arterien lebender Thiere spritzte, heftigen Schmerz entstehen. Die genannten sauren Stoffe wirken der Milchsäure oder dem sauren phosphorsauren Kali, die im contrahirten Muskel entstehen, analog, indem sie in die Muskelsubstanz aus den Blutgefässen eindringen. Das Ermüdungsgefühl dauert an, bis die Bluteirculation Zeit hatte, die bei der Contraction gebildeten, Schmerz erregenden Muskelschlacken abzuführen. Bei allen Krankheiten mit verminderter Circulationsenergie, so wie bei solchen, welche wie Fieber mit einer raschen Consumtion der Körperstoffe, also mit gesteigerter Bildung der Zersetzungsprodukte aller Organe, auch der Muskeln einhergehen, findet sich aus der gleichen Ursache das Ermüdungsgefühl, die Abgeschlagenheit, die dann bei hinzukommenden Anstrengungen oder auch ohne sie leicht in Ermüdungs- oder Muskelschmerzen übergehen kann.

Der Kraftsinn. Die Empfindung von dem Grade der erforderlichen Anstrengung zur Ueberwindung eines uns geleisteten Widerstandes ist so fein, dass er uns Dienste leistet wie ein Sinn, den man nach Weber Kraftsinn nennen kann. Man kann mit seiner Hülfe, ganz unabhängig von dem Tastsinn, den Unterschied zweier Gewichte noch genauer bestimmen als mittelst des Tastsinnes. Man erkennt noch richtig Gewichte als verschieden schwer, die sich wie 39—40 verhalten. Wir wissen durch Erfahrung, welcher Grad von Anstrengung der Muskeln erforderlich ist, um unsere Glieder in eine gewisse Lage zu versetzen und sie darin zu erhalten, so genau, dass wir jeden Augenblick durch den Zustand der Anstrengung der Muskeln, in dem sich diese gerade befinden, anzugeben vermögen, in welcher Lage sich unsere Glieder befinden, auch ohne dass wir sie sehen oder dass sie sich gegenseitig berühren. Diese Kenntniss von der Lage der Glieder zu einander kann ebenso zur Grössen- und Gestaltswahrnehmung mit beiden Händen ergriffener Gegenstände benutzt werden, wie zur Erhaltung des Gleichgewichtes beim Stehen und Gehen. Die Feinheit und Sicherheit der Muskelcontraction, beruhend auf den eben genannten Ursachen, welche wenigstens die vorläufige Schätzung des zur geforderten Muskelaktion nöthigen Impulses vom Nerven aus theilweise im Gehirn zu Stande kommen, überrascht am meisten bei der Ton- und Buchstabenbildung im Kehlkopf und der Mundhöhle, beim Singen und Sprechen (cf. oben S. 686).

Das Muskelgefühl bringt in manchen speciellen Fällen nicht nur den jeweiligen Zustand des Muskels selbst zum Bewusstsein, sondern es verbinden sich mit ihnen auch oft ganz bestimmte Phantasievorstellungen. Weber bemerkt, dass Contractionen gewisser Gesichtsmuskeln, durch welche wir bestimmte Mienen hervorbringen, sich leicht mit den Vorstellungen verbinden, für welche der betreffende Gesichtsausdruck charakteristisch ist, so dass erstere hier und da allein schon genügen, eine gewisse Seelenstimmung in uns hervorzurufen. Umgekehrt verschwinden letztere leichter, wenn die typische Contraction der Gesichtsmuskeln verändert wird, wenn wir z. B. mit der Hand gewisse Runzeln der Stirn glätten, wenn wir unserem Gesicht im Gegensatz zu unserer gerade vorhandenen Gemuthsstimmung einen frohen oder wenigstens ruhigen Ausdruck ertheilen.

Gleichgewichtssinn. Wird ein Mensch auf einem passenden Apparat stehend mit diesem um seine Längenaxe gedreht, so verschwindet bei geschlossenen Augen das Gefühl der Drehung, sobald die Drehgeschwindigkeit gleichförmig geworden ist. Nimmt die Drehgeschwindigkeit ab, so entsteht das Gefühl der Drehung in entgegengesetzter Richtung. Die auftretenden subjectiven Täuschungen über den Gleichgewichtszustand des Körpers werden je nach der Kopfhaltung modificirt. Auf einer Wage in verticale Bewegung versetzt, werden von uns bei geschlossenen Augen die Schwankungen gefühlt, der Punkt der Umkehr aber zu früh angegeben. Man fühlt also auch hier lediglich die Veränderung der Beschleunigung (E. Mach). (Ueber die Annahme, dass die halbzirkelförmigen Kanäle im Ohre Organe des Gleichgewichtssinnes seien, cfr. unten bei Gehörsinn.)

Das Bell'sche Gesetz. Die sensiblen Nerven der Haut stammen aus den hinteren Wurzeln der Rückenmarksnerven, während, wie schon erwähnt, die vorderen der willkürlichen Bewegung vorstehen: Bell'sches Gesetz. Durchschneidet man die hinteren Wurzeln, so hört damit die Empfindung in den von ihnen innervirten Theilen vollkommen auf. Das centrale, mit dem Rückenmark zusammenhängende Ende ist natürlich noch empfindlich und ruft gereizt starke Schmerzempfindungen hervor. So lange die hintere Wurzel noch unversehrt existirt, zeigt sich die vordere, motorische Wurzel auf Reiz ebenfalls, wenn auch viel schwächer als die hintere, empfindlich. Diese scheinbare Sensibilität hört jedoch auf, sobald die hintere Wurzel durchschnitten ist (Magendie). Man erklärt dieses Verhalten dadurch, dass im Ganglion spinale von der hinteren Wurzel Fäden auf die vordere Wurzel übergehen, die dem Rückenmark zu verlaufen, also wieder rückläufig umbiegen. Es muss diese »rückläufige Sensibilität« verschwinden, wenn die hintere Wurzel durchschnitten ist, durch welche die rückläufigen Nerven mit ihren Centralorganen zusammenhängen.

Dreiundzwanzigstes Capitel.

Gesichtssinn. I. Der Bau des Auges.

Die Functionen des Auges und Uebersicht seines Baues.

Das Auge verdankt die Fähigkeit der Lichtempfindung dem in normaler Verbindung mit seinen peripheren und centralen Endapparaten stehenden Sehnerven. Die in der Endausbreitung des Sehnerven, der Netzhaut, Retina, gelegenen Endapparate seiner Fasern, die Stäbchen oder Zapfen der Retina, haben die specifische Eigenschaft, die Schwingungen des Lichtäthers in einen Nervenreiz zu verwandeln. Objectives Licht von genügender Stärke, welches auf ein Stäbchen oder einen Zapfen der Retina auftrifft, bringt einen Erregungszustand der dem Endapparate zugehörigen Nervenfaser hervor, welcher, dem Centralorgane der Empfindung zugeleitet, dort den subjectiven Eindruck einer Lichtempfindung veranlasst. Jeder Erregungszustand der Fasern des Opticus ruft zwar subjective Lichtempfindung hervor, aber nur von den Endapparaten aus können die Fasern durch objectives Licht in den Erregungszustand versetzt werden.

Das menschliche Auge kann nicht nur hell und dunkel, sondern auch Farben und Gestalten unterscheiden. Für die Auffassung des Lichtreizes und für die Unterscheidung seiner Intensität bedürfte das Auge, abgesehen von dem centralen Sinnesapparat im Gehirn, dessen Erregungszustand uns Lichtempfindung bedeutet, nur einer einzigen Nervenfaser mit einem die Lichtreizung vermittelnden Endorgane, etwa mit einem Stäbchen verbunden. Bei absolutem Lichtmangel würde die Opticusfaser gar nicht erregt werden, mit der Steigerung der Intensität des objectiven Lichtes würde der Reizzustand an Stärke zunehmen. Soll das Auge aber auch die Fähigkeit besitzen, die verschiedenen Qualitäten des Lichtes: die Farben, als verschiedene Reize aufzufassen, so müssen nach dem Gesetz der specifischen Energien wenigstens für die Grundfarbenempfindungen, aus denen die übrigen Farbenempfindungen gemischt gedacht werden können, specifische Opticusendorgane, specifische Farbenempfindungsorgane, welche durch Licht von bestimmter Wellenlänge in verschiedener Weise erregbar sind, vorhanden sein. Ihre gleichzeitige Erregung bringt den Eindruck des weissen Lichtes, die Erregung jedes einzelnen den Eindruck von farbigem Lichte hervor. Die Fähigkeit der Gestaltenwahrnehmung setzt eine grössere Anzahl von Opticusendapparaten im Sehorgane und Einrichtungen voraus, durch welche von einem Punkte ausgehende, in das

Auge eintretende Lichtstrahlen im Auge selbst wieder in einen Lichtpunkt und zwar in einem Stäbchen oder Zapfen in der Weise vereinigt werden, dass dadurch eine Erregung einer speciellen Opticusfaser erfolgt. Zu diesem Zwecke ist mit der flächenhaften Ausbreitung des Sehnerven: der Retina, deren für das Licht empfindliche Oberfläche von einer Schicht mosaikartig neben einander stehender Stäbchen und Zapfen gebildet ist, ein optischer lichtbrechender Apparat verbunden, welcher homocentrische Lichtstrahlen durch die Brechung auch wieder auf einen Punkt der Stäbchen- und Zapfenschicht der Retina concentrirt. In Folge dieser Einrichtung macht das Licht für das Auge die ganze Sichtbarkeit zu einer feinen Mosaik leuchtender Punkte, jeder sichtbare Punkt sendet seine Strahlen aus und betheiligt sich dadurch an der Herstellung dieser Mosaik. Die in das Auge von einem deutlich sichtbaren Object aus einfallenden Lichtstrahlen vereinigen sich auf der Licht percipirenden Fläche der Retina zu einem Lichtbildchen des Objectes; da, wie gesagt, die Retina selbst eine ungemein feine Mosaik lichtempfindlicher Nervenendorgane darstellt, so entspricht den verschiedenen das Lichtbild im Auge zusammensetzenden leuchtenden kleinen Flächenabschnitten von der Grösse des Querschnitts eines Licht-empfindenden Retinaelements je ein Reizungszustand eines der vom Bilde gedeckten, mosaikartig neben einander stehenden nervösen Endorgane. Das Lichtbild im Auge wird dadurch in ein musivisches Bild verwandelt, von gleicher Ausdehnung und Gestalt wie jenes, in welchem aber die verschiedenen Helligkeiten und Farben des Lichtbildes durch bestimmte Reizzustände der Nervenendapparate und der zu ihnen gehörigen Opticusfasern wiedergegeben sind. Der Vorgang der Netzhauterregung durch Licht ist mit einer chemischen Veränderung innerhalb der Elemente der Stäbchen- und Zapfenschicht verbunden, wie die Beobachtungen über Bleichung der Retinalpigmente unter Lichteinwirkung ergeben. (Fr. Boll, Kühne, cf. unten.)

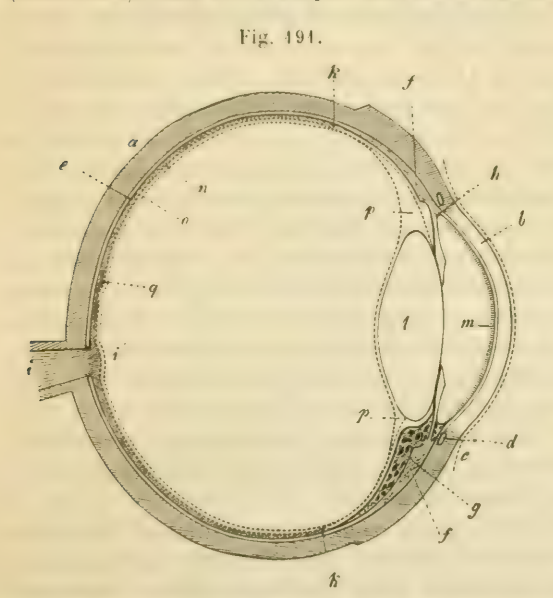
Seinen Functionen entsprechend, lassen sich die wesentlichen Theile des Auges bezeichnen als lichtempfindlicher Apparat, die Netzhaut, und als lichtbrechender Apparat, vor Allem Hornhaut, Linse und Glaskörper. Beide bedürfen noch Schutz- und Ernährungsorgane, weisse Augenhaut und Aderhaut. Doch ist die Trennung keine absolute. Unter den lichtbrechenden Theilen des Auges scheinen auch die Aussenglieder der Stäbchen und Zapfen, welche zu zu dem Licht percipirenden Apparat gerechnet werden, eine vielleicht besonders wichtige Rolle zu spielen. Von den äusseren schützenden Augenhüllen beeinflusst die durchsichtige Hornhaut vorzüglich den Gang der Lichtstrahlen im Auge, und die Aderhaut, welche zunächst als Ernährungsorgan des Auges erscheint, wird für die genaue Zeichnung der Lichtbilder im Auge einmal dadurch wichtig, dass ihr vor der Linse liegender, central durchbohrter Abschnitt, die Iris, als in der Weite veränderliche optische Blendung, Diaphragma, wirkt; andererseits ermöglicht der vorzüglich in ihr verlaufende Accommodationsmuskel durch entsprechende Veränderung der Linsenkrümmung und damit des Gesammtbrechungsvermögens des Auges die Vereinigung von Lichtstrahlen, die aus verschiedener Entfernung herkommen, zu scharfen Lichtbildern auf der Netzhaut, wodurch es dem normalen Auge möglich wird, von Gegenständen in sehr verschiedenen Abständen vom Auge genaue Gesichtswahrnehmungen zu vermitteln.

In dem Auge des Menschen werden durch membranöse Gebilde folgende durchsichtige Theile umschlossen: die *wässerige Feuchtigkeit* in der Augenkammer, die *Krystalllinse*, der *Glaskörper*. Sie bilden den Kern und die Hauptmasse des Auges. Umhüllt werden sie von drei in einander liegenden Systemen von Häuten (Fig. 191). Diese Häute sind:

1. *Das System der Netzhaut* mit der Pars ciliaris. Sie bildet die innerste Augenhaut und liegt direct auf dem Glaskörper auf. Die Pars ciliaris gelangt bis zum Linsenrande.

2. *Das System der Tunica vasculosa* besteht aus der Aderhaut (Choroidea), dem Ciliarkörper und der *Regenbogenhaut*, Iris. Es umfasst das vorige System mit der Linse bis auf eine runde Oeffnung an der vorderen Seite der Linse: die *Pupille*.

Fig. 191.



Querschnitt des Auges nach HELMHOLTZ. *a* Sclerotica; *b* Cornea; *c* Conjunctiva; *d* Circulus venosus corneae; *e* Tunica choroidea und Membrana pigmenti; *f* M. ciliaris; *g* Processus ciliaris; *h* Iris; *i* N. opticus; *i'* Colliculus opticus; *k* Ora serrata retinae; *l* Krystalllinse; *m* Tunica Descemetii; *n* Membrana limitans retinae; *o* Membrana hyaloidea; *p* Canalis Petiti; *q* Macula lutea.

3. *Das System der Sclerotica mit der Cornea.* Es bildet die feste Hüllkapsel des Augapfels, welche in ihrem grösseren hinteren Theile aus der undurchsichtigen, weissen Sehnenhaut des Auges, Sclerotica, und in dem kleineren vorderen aus der durchsichtigen Hornhaut, Cornea, besteht. Sie umschliesst die gesammten anderen Augentheile vollkommen, an ihrer hinteren Seite wird sie durch den eintretenden Sehnerven durchbohrt.

Das »*Weisse*« des lebenden Auges ist die von der *Bindehaut*, welche den Augapfel nach vorne in der Augenhöhle befestigt, überzogene, weisse Augenhaut. Der durchsichtige Theil des lebenden Auges ist die Hornhaut, Cornea, das *Fenster des Auges*, die sich etwas stärker als die Sclerotica hervorwölbt, und hinter der sich die braun oder blau und grau gefärbte Iris mit ihrer schwarz erscheinenden centralen Oeffnung: der Pupille, zeigt.

Die Gestalt des Auges wird durch Sclerotica und Cornea bedingt, welche dasselbe durch ihre Festigkeit vor äusseren Eingriffen schützen. Die Form des Augapfels ist, oberflächlich betrachtet, kugelig, doch ist die hintere Seite meist ziemlich stark abgeplattet. In der Mehrzahl der Fälle stellt die Form der Sclerotica ein Ellipsoid dar, das wir, umgekehrt wie die Gestalt der Cornea (cf. diese), durch Umdrehen einer Ellipse um ihre *kleine* Axe uns entstanden denken können. Sehr *kurzsichtige Augen* haben dagegen eine längliche Form; sie stellt ein Ellipsoid dar, das man sich ebenso wie die Form der Hornhaut durch Um-

drehung einer Ellipse um ihre grosse Axe entstanden denken kann. Eine Linie, durch den Mittelpunkt der Hornhaut und des ganzen Auges gelegt gedacht, bezeichnet man als Augenaxe, eine darauf senkrecht durch die grösste Weite des Augapfels gelegte Ebene bezeichnet man als: Aequatorialebene des Auges, ihren Umfang als Aequator. Die vier geraden Augenmuskeln drücken den Augapfel etwas ein, der sich zwischen ihnen leicht hervorwölbt. Vorn geht die Sclerotica in die stärker gekrümmte Cornea über, hinten und etwas nach unten und innen zu ist sie vom Sehnerven durchbohrt.

Zur vergleichenden Anatomie und Physiologie. — Die einfachsten Augen niederer Thiere scheinen vielleicht nur hell und dunkel zu unterscheiden, erst bei einem complicirteren Bau mit einer Mosaik von Krystallstäbchen, die den Netzhautstäbchen und Zapfen der Retina entsprechen, kommt auch eine genauere Raumunterscheidung mit Hülfe des Auges hinzu. Zu diesem Zwecke muss das von gesonderten leuchtenden Punkten der Aussenwelt ausgehende Licht gesondert, d. h. durch verschiedene Nervenfasern wahrgenommen werden. Es darf dann jede einzelne Nervenfaser nicht mehr von allen Seiten des Raumes Licht zugeführt erhalten, sondern nur von einem möglichst punktförmig beschränkten Raum, so dass jeder Nervenfaser ein kleines möglichst punktförmiges Gesichtsfeld entspricht. In dem Menschenauge und den meisten höher entwickelten Augen wird das durch Lichtbrechung erreicht. In den zusammengesetzten Augen der Gliederthiere wird die Scheidung des Lichtes durch undurchsichtige, die Nervenfasern und ihre Endorgane abgrenzende, trichterförmig gestellte Scheidewände vermittelt (cf. unten).

Sclerotica und Cornea.

Die Sclerotica, die weisse Augenhaut, ist eine feste, fibröse, aus Bindegewebe mit eingelagerten elastischen Fasern gebildete Membran. Sie ist biegsam, aber fast unausdehnbar. Ihre Bindegewebsfibrillen verlaufen meist der Oberfläche der Membran parallel, wodurch diese unvollkommen in Lamellen spaltbar wird. In die Grundsubstanz sind Zellen eingelagert, die den unten zu beschreibenden Hornhautkörperchen ähnlich sind. Wie die Hornhaut ist auch die Sclerotica von einem zierlichen Netze von Saftcanälchen durchzogen, die in letzteren gelegenen Zellen enthalten bei vielen Säugethieren Pigmentkörnchen (Stricker, Carmelt). Die Nerven in der Sclerotica passiren diese z. Thl. nur, um zu dem Musculus ciliaris, der Iris, Cornea etc. zu gelangen, doch lassen sich (deutlich beim Frosch und albinotischen Kaninchen) auch eigene Scleroticanerven nachweisen Stricker, Helferich). Die ziemlich spärlichen Blutgefässe bilden ein weitmaschiges Netz unter der inneren Oberfläche der Sclera. Um die Eintrittsstelle des Opticus läuft ein arterieller Gefässkranz, von welchem zahlreiche Zweige in das interstitielle Bindegewebe des Opticus treten.

Die Cornea, Hornhaut, des Menschenauges setzt sich aus mehreren Schichten verschiedener Gewebe zusammen. Das eigentliche Hornhautgewebe, das die Hauptmasse der Hornhaut ausmacht, wird nämlich nach aussen von einem geschichteten Plattenepithelium, dem äusseren Hornhautepithel, begrenzt. Nach innen schliesst sich an das eigentliche Hornhautgewebe eine elastische, meist homogen erscheinende glasartige Lamelle, die Descemetische oder Demoursische Haut an, die auf ihrer inneren gegen die Augenkammer gewendeten Seite mit einer einfachen Lage abgeplatteter Zellen mit runden Kernen, dem inneren Hornhautepithel oder Endothel der Descemetischen Haut bekleidet ist.

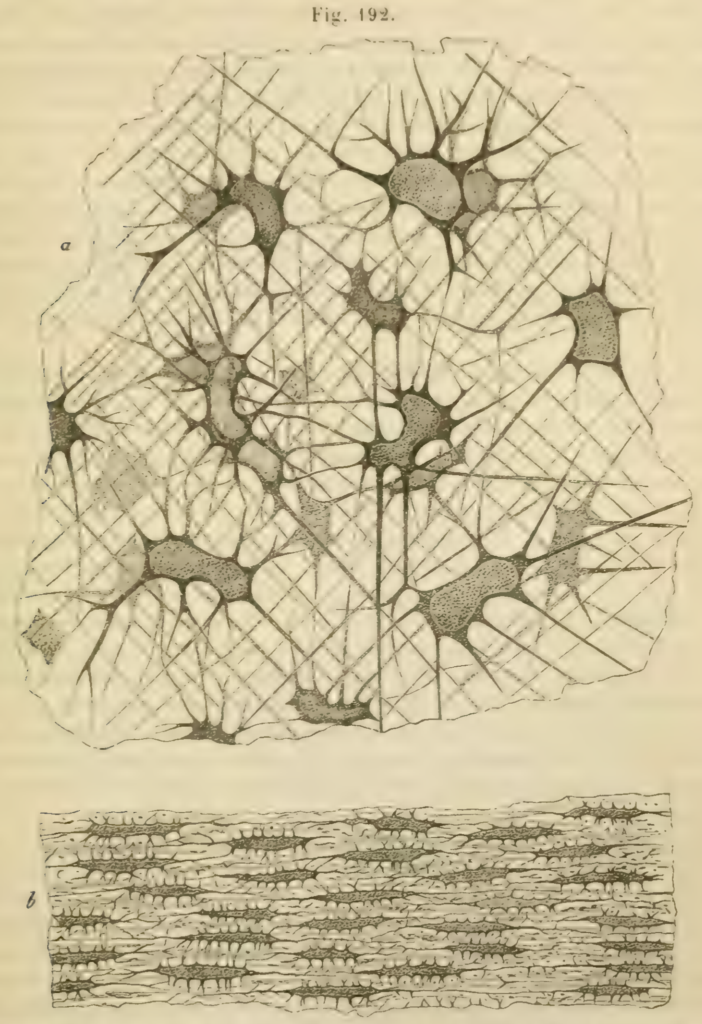
Das äussere Hornhautepithel zeigt in den obersten Schichten abgeplattete, in der untersten, unmittelbar auf dem Hornhautgewebe aufsitzenden innersten Schicht cylindrische Zellen. Die Zellen erscheinen von rauher Oberfläche, ihre kurzen Zacken in einander geschoben wie bei Riff- oder Stachelzellen (A. Rollett, S. 35, Fig. 32). Die Descemetische Haut präsentirt sich auf Hornhautdurchschnitten als scharf gezeichnete Schicht. Ihre Dicke nimmt mit dem Alter von 0,005—0,02 mm zu. Im frischen Zustand erscheint die Membran meist structurlos, unter Einwirkung von Reagentien erhält sie eine der Oberfläche parallele Streifung.

Das eigentliche Hornhautgewebe gehört wie das Gewebe der Sclerotica zu den Geweben der Bindesubstanz. Auch hier findet sich eine fibrilläre Grundsubstanz von einem reichen Safteanälchennetze (v. Recklinghausen) durchzogen, in dessen Innern sich Zellen finden und zwar Zellen zweierlei Art: fixe Hornhautkörperchen (Virchow) und bewegliche Zellen, Wanderzellen (v. Recklinghausen, Engelmann), welche im lebenden Gewebe lebhafte amöboide Bewegungen und einen deutlichen Ortswechsel erkennen lassen. Die Fibrillen der Grundsubstanz sind sehr fein, höchstens 0,0001 mm dick (Engelmann), sie vereinigen sich zu breiten Bündeln, welche meist der Hornhautoberfläche ziemlich parallel verlaufen. Die Richtungen der übereinander liegenden Bänder kreuzen sich unter verschiedenen Winkeln, hier und da rechtwinkelig. Gegen die äussere Oberfläche des Hornhautgewebes zu nehmen die Faserbündel einen gegen die Oberfläche geneigten Verlauf und schieben sich dabei sehr innig durch einander. Gegen das äussere Epithel grenzt sich das Hornhautgewebe durch eine vordere Grenzschicht (Reichert) ab, welche nach A. Rollett auch aus Fibrillen besteht, von Henle unter dem Namen Lamina elastica anterior als ein Analogon der Descemetischen Haut beschrieben wurde. Die Fibrillen der Cornea sind durch eine Kittsubstanz mit einander verbunden, welche Engelmann für flüssig erklärte, was nach Rollett mit den sonstigen Beobachtungen nicht in Einklang steht. Die Safteanälchen, welche die fibrilläre Grundsubstanz der Hornhaut durchziehen, bestehen aus weiteren buchtigen Hohlräumen, die unter einander durch feinere, nach den verschiedensten Richtungen abgehende, unregelmässig verästelte Röhrengebilde anastomosiren. In den Erweiterungen des Safteanälchennetzes finden sich Zellen, die fixen Hornhautkörperchen, eingelagert, welche innerhalb der Safteanälchen ein zusammenhängendes Protoplasmanetz bilden. Diese Hornhautzellen entbehren einer äusseren Membran, ihr Körper ist, abgesehen von ihren Protoplasmafortsätzen, glatt, ebenso ihr Kern, meist liegt ihre schmale Seite senkrecht zur Hornhautoberfläche, so dass sie von oben gesehen breit, auf senkrechten Hornhautdurchschnitten aber ziemlich spindelförmig erscheinen. Die Hauptprotoplasmamasse der Zellen sendet eine grössere oder geringere Anzahl sich verästelnder und dabei schmäler werdender Protoplasmafortsätze aus, die sich mit analogen Fortsätzen anderer Hornhautkörperchen zu einem zierlichen Netze vereinigen, dessen Maschen oft sehr regelmässig sechseckig erscheinen (Rollett) (Fig. 192).

Das Netz der Hornhautkörperchen fällt mit dem der Safteanälchen fast vollkommen zusammen (His), doch bleibt in ersterem so viel Raum, dass sich auch noch, wie Rollett angibt, die beweglichen Körper der Hornhaut v. Recklinghausen's, die Wanderzellen, darin fortbewegen können. Letztere sind kleiner

als die fixen Hornhautkörperchen, ihre Ausdehnung beträgt meist nur 0,015 mm (Engelmann). Ihre Anzahl ist wechselnd in verschiedenen Hornhäuten, doch finden sie sich in allen Schichten. Ihre lebhaften Formveränderungen gleichen völlig jenen der amöboiden weissen Blutzellen oder der Eiterkörperchen, ihre Form erscheint aber im Hornhautgewebe häufig auffallend verlängert und sehr

Fig. 192.



a Hornhautkörperchen aus einer mit Goldchlorid behandelten und von der Fläche gesehenen Froschcornea. *b* die Hornhautkörperchen auf einem zur Oberfläche senkrechten Schnitte einer mit Goldchlorid behandelten Froschcornea.

schmal (Rollett), entsprechend dem zarten Lückensysteme, in welchem sie sich bewegen. Sie stammen theils aus dem Blute und sind wahre ausgewanderte weisse Blutkörperchen (Cohnheim), theils können sie, wie es scheint, auch aus der Umwandlung fixer Hornhautkörperchen (namentlich bei Entzündungen der Hornhaut) entstehen (F. A. Hoffmann, Norris, Stricker, Rollett).

Die Nerven der Hornhaut, deren Erregung Tast- und Temperaturempfindungen vermittelt, treten vom Rande her als verschieden dicke Bündel markhaltiger Fasern in ziemlich regelmässigen Abständen ein. Die Zahl der eintretenden markhaltigen Nerven beträgt beim Menschen etwa 30—40 (KÖLLIKER, SAEMISCH). Indem sie sich verbreiten und sehr bald ihre Markscheide verlieren, bilden sie unter vielfachen Anastomosen einen Nervenplexus, von dem feine Verästelungen gegen die vordere Hornhautfläche aufsteigen, wo sie ein zweites zartes, flächenhaft ausgebreitetes Netzwerk unter der vorderen Grenzschicht der Hornhaut bilden. Von hier verlaufen senkrecht oder etwas geneigt feine Zweige (Rami perforantes) zu dem vorderen Epithel, zerfallen unmittelbar unter diesem pinselförmig oder sternförmig (COHNHEIM, ENGELMANN) in eine Anzahl feinerer Aeste, welche wieder ein zierliches, flächenhaft entwickeltes Geflecht, das subepitheliale Netz, bilden. Von diesem dringen wieder senkrecht in ziemlich konstanten Abständen feine Nervenzweige zwischen die Epithelzellen ein, die erst in der inneren Lage der oberflächlichen, abgeplatteten Zellen weitere feine Endäste abgeben, welche in der äussersten Epithelschicht oft etwas angeschwollen endigen (A. ROLLETT). An der Hornhaut des Kaninchens stellte S. H. CHAPMAN und STRICKER auch ein oberflächliches feinstes Nervennetz dar. Die marklosen Fasern dieser reichen Geflechte sind im Leben so durchsichtig, dass sie den Durchtritt der Lichtstrahlen durch die Hornhaut nicht merklich behindern. Die Temperaturempfindung der Hornhaut ist nach E. FUCHS vom Trigeminus abhängig.

Die Gefässe der Hornhaut bilden beim Menschen nur einen aus zierlichen Kapillargefässschlingen bestehenden Randsaum von 1—1,5 mm Breite. Die oberflächlicheren Gefässe stammen aus den Gefässen der Bindehaut, aus der Sclerotica stammen dagegen tiefer liegende Gefässschlingen. Der Mangel der Blutgefässe ist der Hornhaut durch die oben genannten Saftcanälchen ersetzt. Eigentliche Lymphgefässe wurden am Cornearande beobachtet (KÖLLIKER, HIS), in den anderen Schichten fehlen sie wie die Blutgefässe.

Am Hornhautrande, Hornhautfalz, Limbus corneae, geht das äussere Epithel ohne Unterbrechung in das Epithel der Bindehaut über. Auch die Fasern des Hornhautgewebes und der Sclerotica scheinen sich mit einander zu verbinden, oder wenigstens sehr innig in einander zu schieben. Die Descemetische Haut endigt nach neueren Angaben an der Grenze der Sclerotica mit einem zugeschärften Rande; nach KÖLLIKER geht sie an dem Hornhautrande in ein elastisches Fasernetz über, das beim Menschen zunächst einen ringförmigen Gürtel am Rande der Membran darstellt (ROLLETT und IWANOFF) und sich dann als Ligamentum iridis pectinatum auf den vorderen Irisrand umschlägt, zum Theil gehen die elastischen Fasern auch in den Musculus ciliaris und die innere Wand des SCHLEMM'schen Canals. Das Endothel der Descemetischen Haut steht in Verbindung mit dem der Vorderfläche der Iris (ROLLETT, IWANOFF).

Ueber die Natur des SCHLEMM'schen Canals, Circulus venosus corneae, herrschen noch differente Ansichten. Der Entdecker erklärte ihn für einen venösen Sinus; TH. LEBER hält ihn mit ROUGET für einen plexusartigen Kranz von Venen, unter denen eine an Weite hervorragt; nach G. SCHWALBE ist der SCHLEMM'sche Canal ein Lymphraum. Der Canalis Schlemmii findet sich an der Stelle, wo Hornhaut und Sclerotica von einander abgegrenzt sind, kreisförmig um den Hornhautrand herumlaufend. Er wird nach vorne von der Sclerotica, nach hinten in seinem der Cornea zugewendeten Abschnitt von elastischem, aus der Membrana Descemeti stammendem Gewebe gebildet, die andere Hälfte seiner hinteren Wand, welche sich gegen die Sclerotica zuwendet, besteht aus dem Sehnengewebe dieser Haut (Fig. 191).

Das Protoplasma der fixen Hornhautkörperchen ist, wie zuerst KÜHNE und jetzt A. ROLLETT angab, contractil. Doch hat sich die behauptete Verbindung oder wenigstens Aneinanderlagerung von Nervenfasern mit den Hornhautkörperchen (KÜHNE) oder mit deren Kernkörperchen (LIPMANN) noch nicht sicherstellen lassen (ENGELMANN, ROLLETT).

Chemisch liefert die Cornea durch Kochen keinen wahren Leim, sondern eine dem Chondrin nahestehende oder mit ihr identische Substanz (J. MÜLLER). Im Saft der frischen Hornhaut fand FUNKE viel Albumin und Casein (?).

Messung der Augenform und Hornhautkrümmung.

Das Auge verändert seine Spannung nach dem Tode sehr rasch und bedeutend. C. Krause hat Messungen an 8 möglichst frischen Augen mit dem Zirkel und Mikrometer bei schwacher Vergrösserung angestellt, die aber nur als Näherungswerthe betrachtet werden können. Er fand von aussen gemessen in Pariser Linien (1 mm = 0,443 Linien):

die Länge der Augenaxe (transversaler Durchmesser) zwischen 23,7—25,0 mm
den senkrechten Durchmesser zwischen . . . . 23,3—24,4 -
den grossen diagonalen Durchmesser zwischen . . . . . . 24,3—25,5 -
den kleinen - - - . . . . 24,0—25,1 -

Die Dicke der Sehnenhaut fand er in der Augenaxe zwischen 1,0—1,5, im Aequator zwischen 0,79—1,13, im vorderen Rand zwischen 0,68—0,90 mm.

Die Dicke der Hornhaut fand er in der Mitte zu 0,79—0,12, am Rand von 1,0—1,4 mm.

Helmholtz findet die Dicke der Hornhaut beim Erwachsenen in den mittleren zwei Vierteln des Querschnitts fast konstant, sie nimmt erst gegen den Rand rasch zu, in der Mitte erscheinen sonach die Krümmungskreise in der inneren und äusseren Fläche nahezu concentrisch. **Die vordere Fläche ist sehr nahe ein Abschnitt eines Rotationsellipsoides, das um seine längere Axe, deren Ende im Mittelpunkt der Hornhaut liegt, gedreht ist.** Beim Neugeborenen ist die Hornhaut im Scheitel am dicksten.

Die Krümmung der Hornhaut, deren genaueste Kenntniss für die physiologische Optik von grosster Bedeutung ist, kann genügend scharf nur an lebenden Augen gemessen werden. Man misst zu diesem Zwecke die Grösse eines Spiegelbildes auf der Hornhaut. Kennt man die Grösse und Entfernung des gespiegelten Objectes von einer kugelig gekrümmten, spiegelnden Fläche, so kann man aus der Grösse des Spiegelbildes den Krümmungsradius der spiegelnden Fläche, hier der Hornhaut, berechnen. Eine kugelig gekrümmte Fläche gibt um so kleinere Spiegelbilder, je kleiner ihr Krümmungsradius ist. Kohlrausch liess als Object zwei Lichter, deren Abstand von einander und vom Auge er kannte, im Auge sich spiegeln. Er beobachtete das Auge mit einem für geringe Entfernungen anwendbaren Fernrohr, in dessen Ocular zwei Spinnenfäden parallel gespannt waren, denen er mittelst einer Schraubenvorrichtung beliebige Entfernungen von einander geben konnte. Die Spiegelbilder der Lichter erscheinen auf der Hornhaut als zwei leuchtende Punkte, auf welche die Spinnenfäden möglichst genau eingestellt wurden. Die Entfernung der Spinnenfäden und damit die Entfernung der Spiegelbilder im Auge konnte gemessen, und daraus der Krümmungsradius der Hornhaut berechnet werden. — Um diese Messung des Spiegelbildes von störenden Bewegungen des beobachteten Auges frei zu machen, konstruirte Helmholtz das Ophthalmometer. Wenn wir durch eine planparallele Glasplatte schräg hindurchblicken, so sehen wir einen Gegenstand, den wir betrachten wollen, zwar in seiner natürlichen Grösse, aber etwas seitlich verschoben, und diese Verschiebung ist um so grösser, je spitzer der Winkel zwischen den Lichtstrahlen und der Fläche der Platte wird. Betrachten wir mit einem Auge gleichzeitig durch zwei solche planparallele Glasplatten, die sich unter irgend einem Winkel kreuzen, eine Linie, so erscheint sie, da die eine Platte ihr Bild nach der einen, die andere nach der anderen Seite verschiebt, doppelt. Die Entfernung der Doppelbilder ist um so grösser, je grösser der Drehungswinkel der Glasplatten, sie kann aus den Winkeln, welche die Platten mit der Axe des Fernrohrs machen, berechnet werden. Das Ophthalmometer ist nun im Wesentlichen ein Fernrohr, zum Sehen auf geringe Entfernungen eingerichtet, vor dessen Objectivglase neben einander zwei Glasplatten stehen, so dass die eine Hälfte des Objectivglases durch die eine, die andere durch die andere Platte sieht. Stehen beide Platten in einer gegen die Axe des Fernrohrs senkrechten Ebene, so erscheint nur ein Bild des betrachteten Objects, z. B. des Spiegelbilds eines Lichtes auf der Hornhaut, dreht man aber beide Platten ein wenig und zwar nach entgegengesetzten Seiten, so theilt sich das einfache Bild in zwei Doppelbilder. Der

Drehungswinkel der Platten kann am Instrumente genau abgelesen werden. Lässt man nun, wie nach der Methode von KOHLRAUSCH, auf der Hornhaut einen Maassstab sich spiegeln, dessen Ende man mit je einem Lichte bezeichnet hat, und stellt die durch die Drehung der Platten erzeugten Doppelbilder so an einander, dass das Ende des einen den Anfang des anderen genau berührt, so ist die Länge des Spiegelbildes des Maassstabes gleich der Entfernung seiner beiden Spiegelbilder von einander und kann wie diese berechnet werden. Das Ophthalmometer ist also ein Instrument zur genauen Längenmessung des Spiegelbildes, es kann auch zur Messung anderer namentlich optischer Bilder mit Vortheil angewendet werden.

HELMHOLTZ bestimmte mit dem Ophthalmometer die Elemente des horizontalen Durchschnitts der Hornhaut für die Augen dreier weiblicher Individuen zwischen 25—30 Jahren, es ergab sich in Millimetern:

	I.	II.	III.
Krümmungsradius im Scheitel	7,338	7,646	8,154
Quadrat der Excentricität	0,4367	0,2430	0,3037
halbe grosse Axe	13,027	10,100	11,711
halbe kleine Axe	9,777	8,788	9,772
Winkel zwischen grosser Axe und Gesichtslinie	4°19′	6°43′	7°35′
horizontaler Durchmesser des Umfangs	11,64	11,64	12,092
Abstand des Scheitels von der Basis	2,560	2,531	2,511

Der Mittelpunkt der äusseren Fläche der Hornhaut fällt in allen drei Augen fast genau mit dem Scheitel der Ellipse zusammen. Die Gesichtslinie (cf. unten) liegt auf der Nasenseite des vorderen Endes der grossen Axe des Hornhautellipsoides.

DONDERS theilt eine grosse Anzahl von physiologisch wichtigen Messungen des Krümmungsradius in der Gesichtslinie mit, die Mittelwerthe derselben sind in Millimetern:

Männer:		Frauen:		Nach der Sehweite:	
20 unter 20 Jahren	7,932	6 unter 20 Jahren	7,720	27 Normalsichtige	7,785
51 – 40 –	7,882	22 – 40 –	7,799	25 Myopische	7,874
28 über 40 –	7,819	16 über 40 –	7,799	26 Hypermetropische	7,96
11 – 60 –	7,809	2 – 60 –	7,607		
Mittel	7,858	Mittel	7,799		
Maximum	8,396	Maximum	8,487		
Minimum	7,298	Minimum	8,115		

Der hier gemessene Krümmungsradius der Hornhaut nimmt darnach im Alter etwas ab, die Krümmung nimmt also entsprechend zu. Bei normalsichtigen (emmetropischen) Augen ist die Krümmung der Hornhaut am stärksten, bei myopischen (kurzsichtigen) geringer, am geringsten bei hypermetropischen (überweitsichtigen) Augen. Namentlich für die kurzsichtigen Augen war dieses Resultat überraschend, da man bis dahin ihre Anomalie zum Theil auf eine stärkere Hornhautkrümmung glaubte zurückführen zu dürfen.

Die Berechnung des Krümmungsradius der Hornhaut (HELMHOLTZ) ist, wie oben gesagt, einfach, wenn das gemessene Spiegelbild verhältnissmässig klein gegen den Radius ist. Es verhält sich die Grosse a des Objekts zur Entfernung b des Objekts vom Auge wie die Grösse α des Bildchens zum halben Krümmungsradius $\frac{1}{2}r$, der aus dieser Proportion zu berechnen ist: $a : b = \alpha : \frac{1}{2}r$.

Tunica vasculosa: Choroidea und Iris.

Die Tunica vasculosa s. uvea kleidet als **Choroidea** die Sclerotica innen aus; noch ehe sie den Rand der Cornea erreicht, 1 mm davon entfernt, biegt sie sich von der äusseren Umhüllungshaut des Auges ab und legt sich im weiteren Verlauf an die Vorderfläche der Linse an, welche sie als **Iris**, Regenbogenhaut, bis auf die der Pupillaröffnung entsprechende Centralpartie bedeckt.

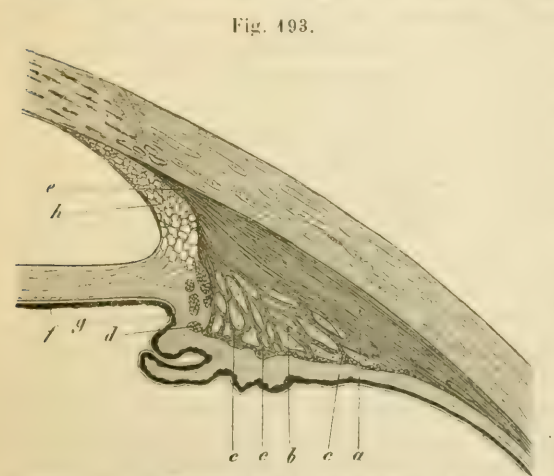
Die Choroidea ist eine 0,06—0,16 mm dicke, gefässreiche Membran. An der Eintrittsstelle des Opticus hängt sie fester mit der Sclerotica zusammen, und ebenso vorne an der Grenze der Sclerotica und Hornhaut, wo sich die ringförmige Sehne des Ciliarmuskels ansetzt. Sonst sind beide Häute nur lose durch Gefässe und Nerven verbunden. Die Hauptmasse der Choroidea wird von Gefässen gebildet, welche mit den glatten Muskelfasern und Nerven der Membran von einem Stroma getragen werden, das sich durch eine grosse Anzahl sternförmig verästelter, unter einander anastomosirender Pigmentzellen charakterisirt, welche in ein dichtes Netz verästelter Fasern eingelagert sind. Auch Wanderzellen kommen nach Iwanoff vor. Nach Franz Morano werden die Capillargefässe von einer Lymphscheide, einem perivascularen Canal umgeben, und es communiciren die augenscheinlich canalisirten Bindegewebskörperchen der Lymphscheide (d. h. die Hohlräume, in welche die Protoplasmakörper der Zellen eingebettet sind) durch hohle Ausläufer mit analogen Hohlgebilden die Blutgefässwandung und stellen auf diese Weise eine, wenn auch äusserst enge, doch offene Verbindung zwischen den beiden Gefässhohlräumen dar. Die äussere, der Sclerotica zugewendete Fläche zeigt eine Pigmentschicht, Lamina fusca; an der Uebergangsstelle der Choroidea und Iris, wo sie sich mit der Sclerotica verbinden, umkreist die Membran als ein ringförmiges, graues, 3—4 mm breites Band der **Ciliarmuskel.** Gegen die Retina zu ist die Choroidea durch eine Glashaut, Lamina vitrea, abgegrenzt, an welcher die Pigmentschicht der Retina so fest ansitzt, dass sie auch in den Abschnitten, in welchen eine Trennung beider Häute leichter ausführbar ist, regelmässig an der Choroidea hängen bleibt, was früher Veranlassung gab, sie als innere Pigmentschicht der Choroidea zu beschreiben. Das Gewebe der Choroidea selbst zerfällt in zwei Schichten, in die innere Membrana choriocapillaris und in die äussere Schicht der gröberen Gefässe, welche sich durch das Vorkommen der Venae vorticosae, fünf bis sechs quirlförmig sich vereinigender Venenbündel, auszeichnet. Die untere Fläche der Choroidea zeigt in ihrem vorderen Abschnitt den bekannten Kranz von meridional gerichteten Falten, durch tiefe Furchen von einander getrennt, die Ciliarfortsätze, Processus ciliares, 70—80 an Zahl (Fig. 191). Sie erheben sich gegen die Iris zu, erreichen ihre grösste Höhe in der Gegend des äusseren Linsenrandes und fallen dann steil gegen die Iris ab, auf deren Hinterseite die meisten als geringe Erhebungen sich fortsetzen. Sie werden der Hauptsache nach durch ein Convolut von Gefässstämmen gebildet und setzen sich mit einem gezackten Saum im Ganzen von dem glatten Theil der Choroidea ab. Der ganze vordere Abschnitt der Choroidea von der Ora serrata an, mit Ciliarfortsätzen und Ciliarmuskel, wird als Corpus ciliare bezeichnet. Die Enden der Ciliarfortsätze und die Linsenkapsel berühren sich niemals vollkommen (O. Becker).

Von der Ora serrata an verbinden sich Choroidea und Netzhaut noch inniger unter Zunahme der Pigmentschicht, welche auf dem hinteren Abschnitte der Retina nur eine einfache, auf ihrem Ciliartheil dagegen eine mehrfache Lage bildet. Die Membrana choriocapillaris erstreckt sich nur bis zur Ora serrata.

Sehr bemerkenswerth erscheinen die in der Choroidea vorkommenden glatten Muskelfasern. H. Müller fand im hinteren Abschnitt der Choroidea an den Seiten der Arteriae ciliares breves längsgerichtete Bündel glatter

Muskelfasern, in individuell verschiedener Anzahl, ähnliche dünne Bündel finden sich auch frei im Stroma zwischen den Gefässen zerstreut. Die Hauptansammlung glatter Muskelfasern findet sich im Ciliarmuskel, dem Brücke'schen Muskel, Tensor choroideae (Brücke, H. Müller, Iwanoff). Auf Durchschnitten zeigt dieses für die Functionirung des Auges äusserst wichtige Organ eine dreiseitige Gestalt, die Spitze nach unten gekehrt. Aus seiner Verbindung ausgelöst würde er sich also als ein dreiseitiges, 0,8 mm dickes, zu einem Ring zusammengebogenes Prisma darstellen (Iwanoff). Die Fasern des Muskels entspringen mit ringförmigen Sehnen, aus festem, plattenförmig ausgebreitetem Bindegewebe bestehend, von der inneren Seite des Schlemm'schen Canals da, wo der elastische und sehnige Theil der Wand sich mit einander verbinden, die Sehnenfasern gehen schliesslich in das Cornealgewebe über. Die vordere Seite und theilweise der innere vordere Winkel des Muskels wird von ziemlich dicken, ringförmig wie der ganze Muskel verlaufenden Muskelbündeln gebildet, die als ein selbständiger Muskel angesehen werden können: H. Müller'scher Muskel. Der grösste Theil der Muskelfasern zeigt einen meridionalen, der Richtung der Ciliarfortsätze entsprechenden Verlauf. Die tieferliegenden Bündel divergiren von ihrem Ursprung aus strahlenförmig und anastomosiren häufig unter einander. Nachdem sie an die innere Seite gelangt sind, wird ihre Richtung circulär, und sie bilden auf diese Weise längs der ganzen inneren Muskeloberfläche ein dichtes circuläres Fasergeflecht (Iwanoff) (Fig. 193). Die meridional verlaufenden Bündel endigen zum Theil etwa 3 mm vom Ursprung des Muskels im geschlossenen, nach hinten convexen, durch Anastomose entstandenen Schlingen. Ein anderer Theil behält seine Richtung bei und verliert sich endlich im Stroma der Choroidea, am weitesten kann man ihren Verlauf zu den Seiten der langen Ciliararterien verfolgen. Innervirt wird der Muskel vom Oculomotorius aus.

Fig. 193.



Durchschnitt der Ciliargegend eines Menschenauges. *a* meridionale Muskelbündel des Musc. ciliaris. *b* tiefere strahlenförmig verlaufende Bündel. *c c c* circuläres Geflecht. *d* Müller'scher Ringmuskel. *f* Muskelplatte an der hinteren Irisfläche. *g* Muskelplexus am Ciliarrand der Iris. *e* ringförmige Sehne des Musc. ciliaris. *h* Ligam. pectinatum.

Auf die Function des Brücke'schen Muskels kann erst weiter unten bei der Lehre von der Accommodation näher eingegangen werden. Iwanoff beschreibt sehr bedeutende individuelle Verschiedenheiten seiner Entwickelung. Bei Weitsichtigen sind vor Allem die circulären Fasern seines vorderen Abschnitts, der Müller'sche Muskel, entwickelt, der Muskel ist im Ganzen kleiner und nicht unbedeutend nach vorne zu verschoben. Bei Kurzsichtigen sind die ringförmigen Bündel sehr schwach entwickelt, der Muskel zeigt vorwiegend meridi-

onale und strahlige Bündel, wodurch sein vorderer Theil nach rückwärts gedrängt, der ganze Muskel länger erscheint.

Die Iris, Regenbogenhaut, liegt als optische Blendung wenigstens mit ihrem Rande dicht auf der Vorderfläche der Linse auf, so dass Lichtstrahlen nur durch den centralen Abschnitt der Linse, welcher von der Iris Pupille in wechselndem Umfang unbedeckt bleibt, frei einfallen können. Vom Ciliarrande der Iris, mit welchem sie an dem Ciliarkörper und gemeinschaftlich mit dem Ciliarmuskel an dem elastischen Theil der Wand des Schlemm'schen Canals befestigt ist, treten 5—6 concentrisch auf der äusseren Oberfläche verlaufende Fältchen ab; in der Nähe des Pupillarrandes zeigt sich dagegen die Irisoberfläche mit einer grösseren Anzahl strahliger, eng zusammengelegter Fältchen besetzt. Schon oben wurde erwähnt, dass durch ein frei durch die wässerige Feuchtigkeit verlaufendes Netzwerk elastischer Fasern, das Ligamentum iridis pectinatum, die Hinterfläche der Cornea mit der Iris in Verbindung tritt und dass mit geringen Modificationen der Zellen auch ihr inneres Epithel auf die Vorderfläche der Iris sich fortsetzt. Auf der Hinterfläche der Iris liegt eine dicke Pigmentschicht, Uvea, auf, welche die Pupille mit einem feinen schwarzen Rande einsäumt und nach hinten in das Pigment des Ciliarkörpers übergeht. Das Stroma der Iris setzt sich aus Bindegewebsfibrillen und sternförmig verästelten und anastomosirenden Zellen zusammen. Letztere sind in schwarzen Augen stark pigmentirt, in hellen Augen aber pigmentfrei. Ausserdem kommen in letzteren noch runde, den Lymphkörpern ähnliche Zellen vor, die sich in dunklen Augen auch pigmentirt zeigen können. Die dunkle Farbe der Iris rührt von den Pigmentzellen im Innern des Stromas her; befindet sich nur auf der Rückseite eine Pigmentschicht, so erscheint die Iris als ein trübes Medium vor einem dunklen Hintergrunde blau. Da sich die Stromazellen der Iris erst nach der Geburt färben, werden, wie man behauptet, alle Kinder mit dunkelblauen Augen geboren (Aristoteles). Bildet sich nun reichlicher Stromapigment, so werden die Augen braun, verdickt sich nur das Stroma ohne Pigmenteinlagerung, so werden die Augen, da sie dann einen grossen Antheil des auffallenden Lichtes reflectiren, erst heller blau, dann grau. In das Stroma sind Nerven, Blutgefässe und namentlich organische Muskelfasern eingelagert, welche die Bewegung der Pupille vermitteln, man pflegt sie als zwei Muskeln zu beschreiben.

Der Ringmuskel der Pupille, M. sphincter pupillae, vom Nervus oculomotorius innervirt, umkreist in concentrischen Ringen den Pupillarrand in einer Breite von 1 mm, seine Contraction verengt die Pupille. Er liegt ziemlich direct unter der Uvea, hinter der Hauptmasse der zum Pupillarrande verlaufenden Gefässe und Nerven. Der Erweiterer der Pupille, M. dilatator pupillae, vom Sympathicus innervirt, bildet in seiner Hauptmasse eine zusammenhängende, die ganze Rückfläche der Iris überziehende Muskelplatte aus regelmässig neben einander, strahlenförmig vom Pupillarrande zum Ciliarrande verlaufenden Fasern. Am Pupillarrande bildet seinen Anfang eine Anzahl bogenförmig verflochtener Bündel, welche theils im Innern des Sphincter, theils an seiner Hinterfläche zwischen ihm und der Pigmentschicht gelagert sind. Der Ciliarrand der Iris wird von seinen sich hier theilweise verflechtenden Fasern ringförmig umfasst (Henle, Jeropheeff, Iwanoff).

Grünhagen leugnet die Existenz eines Dilatator pupillae, er deutet die radiären Bündel als Insertionsbündel des Sphincter. Jene Muskelplatte hält er für Bindegewebe.

Die Nerven der Choroidea, Nervi ciliares, entstammen den Nn. Oculomotorius, Trigeminus und Sympathicus. Die zwei, seltener drei Nervi ciliares longi kommen vom Ramus nasolacrimalis trigemini, die 14—18 Nervi ciliares breves kommen aus dem Ganglion ciliare. Beide durchbohren die Sclerotica nahe der Eintrittsstelle des Nervus opticus und verlaufen auf der äusseren Oberfläche der Choroidea, nachdem sie an deren hinteren Abschnitt, wahrscheinlich zu dessen Muskelbündeln, eine Anzahl von Aestchen abgegeben haben, nach vorn zum Ciliarmuskel, auf welchem sie unter gabelförmiger Theilung ein dichtes Nervengeflecht bilden (Iwanoff), in welchem H. Müller Ganglienzellen fand. Auch die Nerven der Iris (Arnold) sind Aeste der Ciliarnerven der Choroidea. Sie bilden, nachdem sie sich in dem äusseren Irisabschnitt dichotomisch getheilt haben, Bogen und zerfallen dann in ein Netz von mittelstarken Nervenästen, welche hierbei einen, an die Faservertheilung im Chiasma nervorum opticorum erinnernden Faseraustausch erkennen lassen.

Die Blutgefässe der Tunica vasculosa sind für die eigentliche Choroidea die kurzen hinteren Ciliararterien: Ciliarkörper und Iris werden von den langen hinteren und den vorderen Ciliararterien versorgt, sie senden aber auch eine Anzahl rückläufiger Zweige zur Verbindung mit dem Verbreitungsgebiet der hinteren Ciliararterien. Der grösste Theil des Venenblutes der gesammten Tunica vasculosa hat einen gemeinsamen Abfluss durch die Venae vorticosae (Stenson) und nur ein Theil des Blutes des Ciliarmuskels ergiesst sich nach aussen durch die kleinen vorderen Ciliarvenen (Th. Leber).

Die beiden Arteriae ciliares posteriores longae verlaufen unter der Sclerotica, ohne Verästelungen abzugeben, nach vorne zum Ciliarmuskel, theilen sich hier gabelig in zwei Aeste, welche die Substanz des Muskels durchbohren und an seinem vorderen Ende ganz in die circuläre Richtung umbiegen, so dass die beiden Aeste jeder Arterie einander im Umfange des Auges entgegenlaufen, hierdurch entsteht ein am vorderen Rande des Muskels gelegener Gefässkranz, in welchen auch Aeste der vorderen Ciliararterien eintreten: Circulus arteriosus iridis major, welcher besonders die Iris und die Ciliarfortsätze versorgt. Die Arterien beider müssen also sämmtlich vorher den Ciliarmuskel durchsetzen. Die Arterien der Ciliarfortsätze sind kleine Aeste, welche sich rasch in viele unter einander anastomosirende Zweige auflösen, die sich allmälig erweitern und in die Anfänge der Venen übergehen. Diese Venen bilden als ein anastomosirendes Gefässnetz die Hauptmasse der Ciliarfortsätze. Aus ihnen verlaufen parallel nebeneinander kleine Nervenstämmchen rückwärts bis zur Ora serrata, d. h. bis zum Anfang der Kapillargefässschicht der Choriocapillaris, nehmen deren Blut auf und bilden nun die Venae vorticosae, welche die Sclerotica nicht weit hinter dem Aequator durchsetzen. Die Arterien der Iris bilden nahe dem Pupillarrande einen Kranz von Anastomosen: **Circulus iridis minor.**

Lage der Iris im Auge. — Von dem Ligamentum iridis pectinatum an legt sich beim Neugeborenen bis zu ihrem Rand die Iris genau an die vordere Fläche der Linse an, wodurch sie etwas nach vorn gewölbt wird. Bei dem Erwachsenen liegt dagegen, wie es scheint, meist nur ihr Rand in grösserer oder geringerer Ausdehnung an der Linse an. Durch die Wirkung der Strahlenbrechung erscheint die Iris bei der gewöhnlichen Betrachtung des Auges zu weit nach vorn gerückt, der Hornhaut mehr genähert, als sie es wirklich ist. Bei Untersuchung des Auges unter Wasser fällt die Strahlenbrechung fast vollkommen weg. Czermak construirte ein an das lebende Auge anzulegendes Wassergefäss mit Glaswänden: Orthoskop, mittelst dessen man die wahre Lage der Iris zur Hornhaut beobachten kann. Von der Seite gesehen erscheint dann die Hornhaut als eine durchsichtige, stark gewölbte Blase, die Iris tritt als ein fast ebener Vorhang von ihr zurück.

Helmholtz führte den Beweis, dass der Irisrand der Linse dicht anliegt, dass also keine offene Communication zwischen vorderer und hinterer Augenkammer existirt, dadurch, dass bei starker Beleuchtung dieser Partien mittelst concentrirten Lichtes (durch eine Sammellinse) die Iris keinen Schlagschatten auf die Linse wirft, wie es der Fall sein müsste, wenn ein Zwi-

schenraum zwischen beiden vorhanden wäre. Bei diesem Experimente kommt die richtige Lage und das Relief der Iris ebenfalls zur Beobachtung. Die Iris zeigt mehr oder weniger Erhabenheiten und Vertiefungen, meist umkreist sehr deutlich den Pupillarrand als eine Erhebung der Circulus arteriosus iridis minor.

Kennt man den Krümmungsradius im Scheitel der Hornhaut, so kann man die Entfernung der Pupillarebene von dem Hornhautscheitel am lebenden Auge bestimmen, indem man die scheinbare Lage der Iris im Verhältniss zur scheinbaren Lage eines von der Hornhaut gespiegelten Lichtpunktes bestimmt. Mit Verwendung des Ophthalmometers bestimmte Helmholtz hierfür an den drei oben schon erwähnten Augen (S. 802) folgende Werthe in Millimetern:

		I.	II.	III.
Abstand der Pupillarebene vom Hornhautscheitel	scheinbar	3,485	3,042	3,151
	wirklich	4,024	3,597	3,739
Abstand des Mittelpunktes der Pupille von der Hornhautaxe nach der Nasenseite	scheinbar	0,037	0,389	0,355
	wirklich	0,032	0,333	0,304

Nervöser Einfluss auf die Pupille.

Der Schliessmuskel der Pupille wird vom Oculomotorius, der Erweiterer vom Sympathicus innervirt. Normal zeigen beide Nerven und Muskeln stets einen gewissen sich gegenseitig paralysirenden Erregungszustand (Tonus); wird der eine der beiden Muskeln, z. B. durch Durchschneidung seines Nerven gelähmt, so überwiegt nun die Wirkung des andern Muskels. Nach Durchschneidung des Sympathicus am Halse ist der Dilatator gelähmt, es verengt sich in Folge davon die Pupille, umgekehrt bewirkt eine Durchschneidung des Oculomotorius und Lähmung des Sphincter Pupillenerweiterung. Bei gleichzeitiger, gleich starker Reizung überwiegt die Wirkung des Ringmuskels, die Pupille verengert sich. Die zum Ringmuskel gelangenden Oculomotoriusfasern verlaufen durch das Ganglion ciliare. Die sympathischen Fasern des Pupillenerweiterers entspringen im Rückenmark, im Centrum ciliospinale (Budge), in der Höhe der unteren Halswirbel und der oberen Brustwirbel. Experimentell erzeugte und pathologische Reizzustände dieser Rückenmarkspartie erweitern die Pupille. Nach Salkowski soll dagegen noch ein oberes Centrum der Pupillenerweiterung höher, wahrscheinlich in der Medulla oblongata, liegen. Am Kopfe verbinden sich die die Pupillen erweiternden Fasern mit dem Nervus Trigeminus, seine Reizung erweitert daher die Pupille, und seine Durchschneidung macht die Wirkung der Sympathicusreizung erfolglos. Manche Autoren schreiben aber dem Trigeminus, gegen die gegentheilige Angabe Rogow's, auch selbständige, Pupillen erweiternde Fasern zu, deren Ursprung beim Frosch im Ganglion Gasseri liegen soll (Oehl, Rosenthal u. A.).

Beide Pupillen sind normal stets gleich weit (Donders). Reizung der Retina und des Opticus verengert die Pupille. Je intensiver der Reiz, z. B. der Lichtreiz ist, der die Retina trifft, um so enger wird die Pupille, wodurch die in den Augengrund eindringende Lichtmenge regulirt wird. Die Verengerung tritt auch nach Reizung des Opticusstammes ein (Mayo). Die Ursache dieser Pupillenverengerung ist eine reflectorische Erregung des N. Oculomotorius, nach Durchschneidung desselben ist die Reizung des Opticus erfolglos. Bei Reizung eines Opticusstammes werden beide Pupillen verengert.

Drehung des Augapfels nach innen bewirkt Pupillenverengerung; im Schlafe (S. 820), wobei die Augen nach innen und oben gedreht sind, ist daher die Pupille verengert. Auch bei der normalen (und krampfhaften, durch Gifte z. B. Kalabar bewirkten) Accommodation für die Nähe ist die Pupille verengert. In beiden Fällen wird die Pupillenverengerung durch Erregung des Oculomotorius bewirkt. Eine gesteigerte Blutzufuhr zur Iris scheint die Pupille zu verengern, man bezieht darauf auch die geringen Schwankungen in der Pupillenweite mit dem Pulse. Bei Abfluss des Humor aqueus tritt vielleicht auch aus diesem Grunde eine Pupillenverengerung ein (Hensen und Volckers).

Pupillenerweiterung existirt in der Dyspnoe, erzeugt durch Reizung des Centrum ciliospinale, da sie nach vorhergehender Durchschneidung des Sympathicus ausbleibt. In der Asphyxie verschwindet sie. Auch starke Erregung sensibler Nerven (BERNARD, WESTPHAL), sowie Muskelanstrengungen, vor Allem starke Athembewegungen erweitern die Pupille (ROMAIN-VIGOUROUX). Bei curarisirten, künstlich respirirenden Hunden und Katzen bringt jede sensible Reizung, sowohl schmerzhafte wie tactile, eine Erweiterung der Pupille hervor, so dass die Pupille als das feinste Reagenz auf sensible Erregung angesprochen werden darf (M. SCHIFF und P. FOÀ). Nach KNOLL tritt Pupillenerweiterung bei Reizung der vorderen Vierhügel ein (cf. Cap. XXVI).

Eine Anzahl von Giften zeigt bei örtlicher Anwendung oder bei Einführung in das Blut eine Einwirkung auf die Pupille. Atropin bewirkt durch Lähmung der Oculomotorius-Endigungen im Ringmuskel eine Erweiterung der Pupille. Hat man durch lokale Einträufelung von Atropin die Pupille des einen Auges erweitert, so wird die des anderen gleichzeitig verengt. In das atropinisirte Auge fällt eine gesteigerte Lichtmenge ein, die dadurch gesetzte gesteigerte Reizung seines Opticus resp. seiner Netzhaut, die sich bei ihm nicht geltend machen kann, thut dieses, nach dem oben Gesagten, doch in dem anderen Auge. Durch Nicotin, Kalabar, Morphium etc. wird die Pupille verengert. Man streitet sich noch über die Ursache, ob durch Lähmung der Sympathicusenden im Dilatator (ROSENTHAL, HIRSCHMANN), oder durch Reizung des Oculomotorius (GRÜNHAGEN). Während der Kalabarwirkung bleibt die Reizung des Sympathicus erfolglos. Die Atropinwirkung tritt auch nach der Durchschneidung des Ganglion ciliare noch ein (HENSEN). Die Anästhetica, z. B. Chloroform, Aether, Alkohol verengern zuerst und erweitern dann die Pupille.

Die Retina.

Die Retina, Netzhaut, ist die flächenhafte Ausbreitung des Sehnerven im Auge. Die Entwickelungsgeschichte lehrt, dass die Retina als ein in das Sinnesorgan vorgeschobener Abschnitt des Gehirns angesprochen werden muss. Im frischen Zustand vollkommen durchsichtig, nimmt sie nach dem Tode ein weissliches und trübes Aussehen an (über Retinalpigment cf. unten). Am dicksten (0,22 mm) ist sie im Hintergrund des Auges, besonders am gelben Fleck, sie verdünnt sich bis zur Ora serrata (0,09 mm), verliert hier ihre nervöse Beschaffenheit und verbindet sich von hier an innig mit der Aderhaut und der Glashaut des Glaskörpers unter dem Namen der Pars ciliaris retinae. In der Tiefe des Auges, etwas nach innen, zeigt sich die Eintrittsstelle des Opticus als weisse, central von Gefässen durchsetzte Kreisscheibe. Etwas nach aussen, d. h. nach der Schläfenseite hinüber, zeigt sich als gelber Fleck die Macula lutea Retinae mit der Fovea centralis, die Stelle des deutlichsten, direkten Sehens (S. 812).

Die Netzhaut besteht aus Nervenfasern, in deren Verlauf Nervenzellen von verschiedener Form (grössere Ganglienzellen und kleinere sogenannte Körner) eingeschaltet sind. Das peripherische Ende der Nervenfasern ist durch eigenthümliche Endapparate, die Stäbchen und Zapfen der Retina, ausgezeichnet, welche mosaikartig nebeneinander stehend von pigmentirten Scheiden einer Pigmentzellenschicht umgeben sind. Die nervösen Elemente, deren Fasern den Nervenfasern der weissen Substanz des Gehirns und Rückenmarks entsprechen, sind in ein spongiöses bindegewebiges Gerüst eingebettet, welches Aehnlichkeit mit dem der nervösen Centralorgane zeigt, in ihm finden sich Blut- und wahrscheinlich auch Lymphgefässe.

Die verschiedenen nervösen Gewebselemente (M. Schultze) sind in der Netzhaut schichtweise, parallel zur Oberfläche derselben gelagert (Fig. 194).

Die innerste, dem Glaskörper aufliegende erste Schicht bildet die Grenzschicht der Retinalbindesubstanz, die Membrana limitans interna.

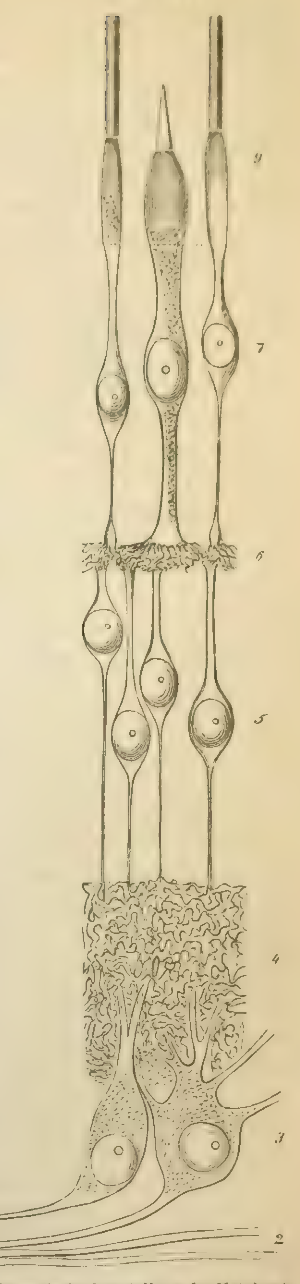
Die zweite Schicht ist die Schicht der Opticusfasern. Die Fasern verbreiten sich von der etwas kraterförmig vertieften Eintrittsstelle aus radial über die Netzhaut, indem sie nur den gelben Fleck umgehen. Sie sind von sehr verschiedener Dicke von noch weniger als 0,5 Mik. (1 Mik. = 0,001 mm) bis zu 3—5 Mik. Alle neigen beim Absterben zur Bildung perlschnurartiger Varikositäten. Sie scheinen Axencylinder ohne Markhülle zu sein. Gegen die Ora serrata zu wird ihre Schicht dünner.

Die dritte, oder die Schicht der Ganglienzellen wird von einer, an den meisten Stellen einfachen Lage von verschieden grossen Nervenzellen gebildet. In der Umgebung der Macula lutea liegen zwei bis drei, in dem gelben Fleck eine grössere Anzahl über einander. Ihre Grösse schwankt von 15—30 Mik. und mehr. Sie zeigen die vielfache Verästelung (Corti) und das übrige Ansehen der Ganglienzellen der Centralorgane. Die Fortsätze dieser Zellen stimmen zum Theil mit dem Aussehen der Fasern der Opticusfaserschicht ganz überein, und es lässt sich in Verbindung mit den Lagerungsverhältnissen der Zellen zu der Faserschicht nicht an einem directen Uebergang von Nervenfasern in die Zellen zweifeln.

Die vierte, 0,3—0,4 mm dicke Schicht ist die innere granulirte Schicht. Zwischen den der Bindesubstanz angehörenden Bestandtheilen sind verschwindend dünne, oft vielfach verschlungene Nervenfäserchen eingelagert. Auch dickere Ganglienzellenausläufer ragen in diese Schicht herein. Sie gehen zum Theil in unmessbar feine Fäserchen über, am gelben Fleck aber scheinen auch dickere Fasern bis in die äussere Körnerschicht vorzudringen (Kölliker, Gerlach, Merkel).

Die fünfte Schicht ist die Schicht der inneren Körner. Diese Körner sind verschieden, sie gehören zum Theil dem Bindegewebe an, zum Theil stehen sie aber mit wahren, meist radiär verlau-

Fig. 194.



Schematische Darstellung der Netzhautschichten und des Zusammenhangs der Nervenfasern in der Netzhaut. 2 Opticusfasern, 3 Ganglienzellen, 4 innere granulirte, 5 innere Körnerschicht, 6 äussere granulirte, 7 äussere Körnerschicht, 9 Stäbchen und Zapfen.

fenden Nervenfibrillen in Verbindung. Diese etwas verschieden grossen Körner sind als kleine bipolare Ganglienzellen aufzufassen. (Der von unten her an sie herantretende Fortsatz soll wenigstens in der Macula lutea dünner sein als der oben abtretende, was sich bei allen fadenförmigen Fortsätzen in der Retina wiederholt (Merkel).) Die Masse des Protoplasmas der »Körner« ist gering, der Kern verhältnissmässig sehr gross.

Die sechste Schicht ist die etwa 10 Mik. dicke äussere granulirte Schicht (Henle) (Zwischenkörnerschicht), welche die innere Körnerschicht von der äusseren Körnerschicht trennt. Das granulirte Aussehen, das sie mit der viel dickeren inneren granulirten Schicht gemeinsam zeigt, rührt von der bindegewebigen Grundlage her, in welcher ebenfalls ausserordentlich feine Nervenfäserchen schief oder der Fläche der Retina parallel verlaufen. Die Fäserchen entwickeln sich theils aus den peripherischen Fortsätzen der inneren Körner, theils aus den Stäbchen- und Zapfenfasern.

Die siebente Schicht ist die äussere Körnerschicht. Die äusseren Körner sind kernhaltige Anschwellungen der von den Stäbchen und Zapfen gegen die äussere granulirte Schicht verlaufenden Fasern, der sogenannten Stäbchen- und Zapfenfasern, d. h. kleine bipolare Ganglienzellen.

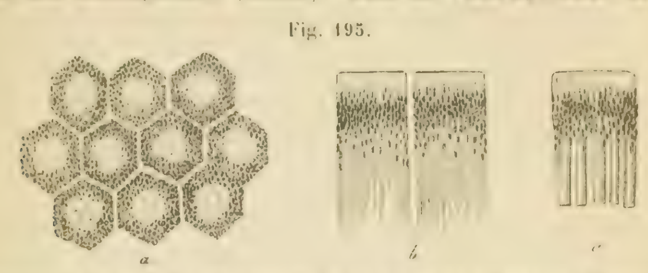
Die achte Schicht ist die der Limitans interna analoge Limitans externa. Sie trennt an Netzhautquerschnitten als eine scharfe Grenzlinie die äussere Körnerschicht von der neunten Schicht, der Stäbchen- und Zapfenschicht. Die Stäbchen sind cylindrisch, 50—60 Mik. lang und 2 Mik. dick. Sie stehen sehr dicht an einander; in die engen Zwischenräume, welche zwischen ihnen, z. Thl. durch ihre cylindrische Gestalt bedingt, bleiben, schieben sich Fortsätze der Zellen der Pigmentschicht ein. In ziemlich regelmässigen Abständen stehen in dem peripherischen Theile der Netzhaut zwischen den Stäbchen die Zapfen, meist so, dass der gerade Abstand zweier Zapfen von 4—5 Stäbchen ausgefüllt ist. Die Dicke der Zapfen an der Basis beträgt hier zwischen 6—7 Mik. Nach aussen verdicken sie sich öfters noch ein wenig, verschmälern sich dann allmälig und gehen in eine konische Spitze aus. Die Zapfen sind kürzer als die Stäbchen, beide verkürzen sich etwas gegen die Ora serrata zu. Sowohl an Stäbchen als Zapfen unterscheidet man nach W. Krause Aussenglied und Innenglied. Das Aussenglied ist bei beiden Formen durch ein stärkeres Lichtbrechungsvermögen ausgezeichnet. Die Grenze zwischen den Aussen- und Innengliedern benachbarter Stäbchen liegt in ziemlich gleicher Höhe, während bei den Zapfen die Grenze tiefer liegt, d. h. also weiter nach vorne, da das Innenglied der Zapfen durchgehends um etwa 6 Mik. kürzer ist, als das Innenglied der Stäbchen, auch das Aussenglied der Zapfen ist durchschnittlich kürzer als das der Stäbchen.

Die zehnte und letzte Schicht der Retina bildet die Schicht des Retinalpigments, welche früher als innere Pigmentschicht der Choroidea beschrieben wurde. Die Entwickelungsgeschichte und Function weist sie zur Retina. Die Pigmentschicht besteht aus regelmässig sechsseitigen Zellen. Der äussere, an die Choroidea grenzende, meist den kugeligen Kern enthaltende Theil jeder Zelle ist pigmentarm oder sogar farblos; der innere Zellenabschnitt, der sich mit dem krystallinisch-körnigen Pigmente erfüllt zeigt, sendet viele äusserst vergängliche Fortsätze zwischen die Aussenglieder der Stäbchen und

Zapfen und umhüllt die einzelnen Aussenglieder mit pigmentirten Scheiden. Diese Fortsätze der Pigmentzellen zerfallen an ihrem Ende in zahllose, oft ganz farblose feine Fäden, welche sich bis an die Grenze zwischen Aussen- und Innenglied herab verfolgen lassen.

Die Aussenglieder der Stäbchen und Zapfen M. Schultze lassen schon frisch eine feine Querstreifung erkennen und zerfallen durch Quellung in feine Querscheibchen, die bei den Zapfen etwas dicker sind als bei den Stäbchen. Auch eine Längsstreifung findet sich an den Aussengliedern (Hensen). Auch die Innenglieder der Stäbchen

Fig. 195.



Zellen der Pigmentschicht der Netzhaut des Menschen. *a* von der Fläche gesehen im Zusammenhang, *b* von der Seite gesehen mit den langen haarförmigen, theils pigmentirten, theils pigmentfreien Fortsätzen, *c* eine Zelle ebenso von der Seite gesehen, in welcher Aussenglieder von Stäbchen festhängen.

und Zapfen zeigen eine oberflächliche Längsstreifung, welche von einer dem Bindegewebe angehörenden Faserhülle herrührt, welche die Stäbchen und Zapfen einhüllt (cf. unten). Der obere Theil der Innenglieder, sowohl der Zapfen als der Stäbchen, ist erfüllt durch eine dichte Masse feinster, in der Längsrichtung verlaufender Fibrillen, welche, ehe sie die Limitans externa erreichen, scharf abgegrenzt endigen. Die Zapfenfasern, die dicker sind als die Stäbchenfasern, zeigen wie dicke Axencylinder eine feine Längsstreifung.

Stäbchen und Zapfen als lichtbrechende Apparate. — Nach Zenker's Beobachtung besteht ein Unterschied zwischen dem Brechungsindex der Mantelfläche und des Innern der Stäbchen. Er schätzt die Indices zwischen 1,33 bis 1,5, W. Krause zwischen 1,45 bis 1,47. Nach Brücke haben Stäbchen und Zapfen einen sehr wesentlichen Einfluss auf den Gang der Lichtstrahlen im Auge. Das von einem leuchtenden Punkt ausgehende in das Auge einfallende Licht durchsetzt die inneren Schichten der Retina und gelangt zu einem Stäbchen oder Zapfen und durch diesen hindurch an das Pigment der Retina. Hier wird es zum grossen Theil absorbirt, der Rest geht aber durch dasselbe Retinalelement, Stäbchen oder Zapfen, durch das es beim Einfallen gekommen, wenigstens zum grössten Theil zurück. Der Grund liegt in der totalen Reflexion, welcher dieses zurückkehrende Licht in den Stäbchen und Zapfen resp. deren Aussengliedern erfährt. Bekanntlich werden sehr schief, d. h. unter grossem Einfallswinkel, auffallende Lichtstrahlen, welche aus einem stärker lichtbrechenden gegen ein schwächer lichtbrechendes Medium verlaufen, total reflectirt. Nach Brücke werden die stark lichtbrechenden Aussenglieder der Stäbchen und Zapfen durch die schwächer brechenden dazwischen geschobenen Gewebe (Faserhülle, Pigmentscheiden, Brücke's Zwischensubstanz) von einander getrennt. Letztere werden von allem Licht, welches in eines der Stäbchen- oder Zapfenaussenglieder eingetreten ist, unter sehr grossem Einfallswinkel getroffen, es wird also an den Grenzflächen total reflectirt und muss auf demselben Weg, auf dem es gekommen, d. h. durch dasselbe Stäbchen oder denselben Zapfen, den es schon beim Einfallen getroffen, zurückkehren. Diese Angaben Brücke's werden durch das in neuerer Zeit entdeckte verschiedene Brechungsvermögen der Mantel- und Innenschichten der Stäbchen noch weiter erhärtet.

Die stützende Bindesubstanz der Netzhaut, welche mit der des Sehnerven in Verbindung steht, umhüllt als Gerüst die eingelagerten nervösen Elemente. Denken wir uns die letzteren weg

oder, was theilweise möglich ist, entfernen wir sie künstlich, so bleiben mehr oder weniger unregelmässig gestaltete Gerüstmaschen zurück, entsprechend der Verschiedenheit der die Netzhautschichten bildenden nervösen Elemente auch verschiedene Schichten bildend. Im Allgemeinen besteht die Bindesubstanz aus Fasern und membranösen Platten. Man unterscheidet zunächst die beiden obengenannten Grenzmembranen. Zwischen Limitans interna und Externa stehen, wie die Säulen zwischen Fussboden und Decke (M. Schultze), radiale Faserzüge, die bindegewebigen Stützfasern, welche, je nach den Schichten der Netzhaut wechselnd, durch ein gröberes oder feineres, an das Gewebe eines Schwammes erinnerndes Maschennetz seitlich mit einander verbunden werden. In der inneren Körnerschicht enthält die grösste Anzahl der Stützfasern einen ovalen Kern mit deutlichen Kernkörperchen eingelagert, es ist das die oben erwähnte zweite Art von Körnern der inneren Körnerschicht. Die Limitans externa ist keine isolirbare Membran, sie hängt auf das Innigste, wie auch die Limitans interna, mit der gesammten Bindesubstanz der Netzhaut zusammen. Ueber die Limitans externa ragt eine Unzahl feiner bindegewebiger Fäserchen heraus, welche als »Faserkörbe« die Stäbchen und Zapfen von unten her scheidenartig umfassen und die oberflächliche Längsstreifung derselben veranlassen (M. Schultze).

Macula lutea und Fovea centralis. Der Ort des directen Sehens, der gelbe Fleck mit der Centralgrube, ist in dem abgestorbenen Auge durch eine gelbe Färbung ausgezeichnet; sie rührt von einem diffusen gelben Farbstoffe her, welcher mit Ausnahme der Stäbchen und Zapfenschicht und der äusseren Körnerschicht in allen Schichten verbreitet ist. Herm. Schmidt constatirte, dass dieser gelben Farbe im Leichenauge eine dunkel braunrothe im lebenden Auge entspricht (cf. Retinalpigment). An der dem Glaskörper zugewendeten Fläche vertieft sich die Macula lutea zu der Fovea centralis, hier ist der Farbstoff am intensivsten. Die Netzhaut ist am gelben Fleck am dicksten, obwohl hier die Bindesubstanz an Mächtigkeit abnimmt und die Nervenfasern als zusammenhängende Schicht fehlen. Am ansehnlichsten verdickt erscheint die Schicht der Ganglienzellen und die innere, nur Fasern enthaltende Abtheilung der äusseren Körnerschicht. Schon in der Umgebung des gelben Flecks werden die Stächen zwischen den Zapfen immer seltener, der gelbe Fleck selbst enthält nur Zapfen, welche gegen die Centralgrube zu immer dünner werden, in der Centralgrube, circa 0,2 mm Durchmesser, sind sie alle gleich dick und haben nur die Dicke von Stäbchen. Auf dem gelben Fleck stehen die Zapfen in Bogenlinien, welche nach der Centralgrube zu convergiren. Die Länge der Zapfen nimmt mit der Dickenabnahme zu, die Länge der Aussenglieder wird der der Stäbchen gleich. Die dünnsten Zapfen der Fovea messen frisch an ihrer Basis im Durchschnitt 3 Mik. (M. Schultze). Welcker bestimmte ihre Dicke zu 3,1 bis 3,6 Mik., im Mittel zu 3,3. Die langen konischen Aussenglieder spitzen sich gegen die Choroidea bis auf 1 Mik. und darunter zu, sie stecken in Pigmentscheiden, die hier eine besonders dunkle Färbung zeigen.

Die Zapfenfasern verlaufen in dem gelben Fleck nicht mehr radiär zu den Schichten der Netzhaut, sie nehmen schon ausserhalb der Grenze des gelben Flecks eine schiefe, fast horizontale Richtung an. Der Grund dafür liegt darin, dass der Centralgrube alle Schichten der Netzhaut, mit Ausnahme der Zapfen und der äusseren Körner (bis auf ein Minimum) fehlen. Die zu den äusseren Körnern gehörigen inneren Körner und übrigen Netzhautelemente liegen ausserhalb der Centralgrube, ihre Fasern müssen daher, um den Anschluss zu erreichen, einen schiefen Verlauf annehmen. Die Ganglienzellen der Macula sind meist bipolar (Merkel u. A.); der hier sehr zarten Bindesubstanz

fehlen die Stützfasern, dagegen ist die Limitans interna in der Macula selbst ansehnlich verdickt, in der Centralgrube verdünnt sie sich wieder bedeutend.

In der Nähe der **Ora serrata** schwinden die nervösen Netzhautbestandtheile mehr und mehr, während das Bindegewebe mit den Stützfasern und dem spongiösen Netze die Hauptmasse der Membran darstellt. Die Netzhautschichten verdünnen sich und verlieren ihre specifischen Eigenschaften. Die Stäbchenschicht hört endlich scharf auf, und die übrigen nervösen Retinalschichten reduciren sich auf eine einfache Schicht von Zellen, welche die zwischen der Pigmentschicht und der Zonula Zinnii liegende **Pars ciliaris retinae** darstellt. Diese Zellenschicht scheint eine Fortsetzung des indifferenten Stützgewebes der Netzhaut zu sein. Im Allgemeinen sind ihre Zellen langgestreckt, prismatisch und ähneln im Zusammenhange einem hohen Cylinderepithel, ihr äusseres Ende ist glatt abgestutzt, nach innen endigen sie unregelmässig, öfters verästelt (H. Müller, M. Schultze). Auch die Limitans setzt sich fort.

Die Gefässe der Netzhaut: Arteria und Vena centralis retinae, treten durch die Axe des Sehnerven in die Netzhaut ein und verästeln sich von der Eintrittsstelle aus baumförmig nach allen Richtungen. Anfangs ist ihre Lage nahe unter der Grenzmembran in der Schicht der Sehnervenfasern, später dringen sie auch (was noch bestritten wird) zwischen die Nervenzellen und die fein granulirte Schicht ein, wo sie sich zu einem weitmaschigen Kapillarnetz verästeln. In den gelben Fleck treten keine grösseren Gefässe, die Netzhautgrube hat nicht einmal Kapillargefässe, sie ist von einem Kranz kapillarer Endschlingen umgeben. Nach Schwalbe sind die Capillaren und Venen der Netzhaut von perivasculären Lymphräumen umhüllt.

Die Durchmesser der wichtigsten Netzhautelemente nach mm. Nach den Messungen von C. Krause, E. H. Weber, Brücke, Kölliker, Vintschgau, M. Schultze. Die Durchmesser für Stäbchen und Zapfen cf. oben. Durchmesser der Eintrittsstelle des Sehnerven von 1,7—2,7; Durchmesser des Gefässstranges darin 0,63—0,7; Entfernung der Mitte des Sehnerven von der Mitte des gelben Flecks 2,25—3,8; horizontaler Durchmesser des gelben Flecks 2,25—3,27; vertikaler 0,81; Durchmesser der Netzhautgrube 0,18—0,225; Dicke der Netzhaut am Umfange des Sehnerven 0,22, am Aequator 0,084, am vorderen Rande 0,09; Dicke der Schichten am gelben Fleck. Nervenzellen 0,101—0,117, feinkörnige Schicht 0,045, innere Körnerschicht 0,058, Zwischenkörnerschicht 0,86, äussere Körnerschicht 0,058, Zapfenschicht 0,067; Durchmesser der Nervenzellen 0,009—0,022, der Körner 0,004—0,009. Ein Mik. = 0,001 mm.

Die Zonula Zinnii in den beiden folgenden Paragraphen.

Die Pigmente der menschlichen Retina. Sehpurpur. — Ueber die Art und Weise, wie die Lichtstrahlen die physiologische Reizung der Retina hervorrufen, haben die Beobachtungen der letztvergangenen Jahre wichtige Aufschlüsse gebracht. Die Physik definirt die Lichtstrahlen als Wellenbewegungen eines »Lichtäthers«. Die vor- du Bois-Reymond'sche Periode der Nervenphysiologie suchte in analogem Sinn aus Wellenbewegungen eines hypothetischen »Nervenäthers« die inneren nervösen Vorgänge zu erklären. Die Wellenbewegungen des Lichtäthers konnte man sich nach dieser Anschauung für die Reizung der Opticusfaser direct umgesetzt denken in Wellenbewegungen des Nervenäthers. Nach diesem Principe schienen sich die verschiedenen Qualitäten der Nervenerregung bei der Farbenempfindung auf analoge Verschiedenheiten in der Bewegung des Nervenäthers zurückführen zu lassen, wie jene, auf denen nach den physikalischen Anschauungen die objective Verschiedenheit der Spectralfarben beruht. Diese scheinbar wohlbegründete physikalische Theorie der Netzhauterregung musste mit der Beseitigung des Nervenäthers

durch die Entdeckung der Nervenelectricität und des wahren Baues der Nervenfaser fallen.

In neuerer Zeit stehen sich zwei Hypothesen gegenüber: eine physikalische, welche annimmt, dass das Licht dadurch, dass es sich im Auge in Wärme umsetzt, zu einem Nervenreiz werde, und eine chemische Hypothese, welche in der Retina eine Art von photographisch empfindlicher Platte sieht und, durch Zersetzung in der Retina enthaltener Stoffe, chemische Reize unter der Einwirkung des Lichtes sich bildend denkt.

Die chemische Hypothese hat durch die Entdeckung eine wesentliche Stütze gefunden, dass wirklich in der Retina unter der Einwirkung des Lichtes, und zwar in verschiedener Intensität je nach der Wellenlänge (der Farbe) desselben wie auf der lichtempfindlichen Platte des Photographen, chemische Zersetzungen eintreten, und dass im Auge, wie in der Camera obscura, optisch erzeugte Bilder sich als Optogramme auf der Netzhaut fixirt demonstriren lassen. Damit ist aber noch keineswegs erwiesen, dass wir gerade in diesen bis jetzt erkannten chemischen Zersetzungen durch das Licht resp. in den durch diese Zersetzung gebildeten Stoffen die physiologischen Reize der Retinafasern anzuerkennen haben. Im Gegentheil warnen manche Erfahrungen vor einem solchen voreiligen Schlusse.

Die neue Wendung in dieser Frage wurde durch die Entdeckung des rothen Retinalpigments, des Sehpurpurs, eingeleitet. — Fr. Leydig hatte zuerst eine röthliche Färbung der Retinalstäbchen bei Amphibien (Frosch und Salamander) und mehreren wirbellosen Thieren (Insekten, Krebsen) als eine constante Lebenseigenthümlichkeit erkannt und beschrieben. M. Schultze machte auf diese Beobachtung für die Retina der Ratten, Eulen und Cephalopoden u. a. gelegentlich wieder aufmerksam; Fr. Boll machte die Entdeckung, dass die Retina der meisten Wirbelthiere und jener Wirbellosen, welche eine ausgebildete Stäbchenschicht besitzen, nur wenn diese einige Zeit vor der Untersuchung im Dunkel gehalten wurden, diese Rothfärbung zeige und dass dieselbe im Lichte ausbleiche. Dadurch wurde die Frage über das Retinalpigment in den Vordergrund der physiologischen Diskussion über den Sehact gestellt, an welcher sich vor allem W. Kühne (mit Ewald, Mays, Ayres) erfolgreich betheiligte. Kühne beobachtete zuerst die ziemlich dunkle rothe Farbe der im Finstern gehaltenen Menschenretina. Boll bemerkte, dass eine theilweise belichtete Netzhaut nur in dem direct vom Lichte getroffenen Abschnitt ihre Rothfärbung verliert; Kühne gelang es, durch diese partielle Bleichung scharf gezeichnete Umrisse beleuchteter Gegenstände, wie Ladenöffnungen, Fensterkreuze u. a., also wahre Optogramme, auf der Netzhaut der Augen frisch geschlachteter Thiere, d. h. das Bildchen wenigstens im Umriss zu fixiren, welches das Auge von den beleuchteten Objecten auf der hinteren Fläche der Retina entwirft. Die rothe Färbung der Retina, von Hämoglobin vollkommen verschieden (Boll), rührt von einem bisher unbekannten Farbstoff her, welchen Kühne aus den Netzhäuten darstellte und als Sehpurpur bezeichnete. In concentrirter Lösung ist der Farbstoff dunkelviolett, in verdünnter rosa. Unter der Einwirkung des Lichtes bleicht der Sehpurpur ausserhalb der Retina wie in dieser selbst, er geht dabei (meist) durch Chamois in Gelb und dann ins Farb-

lose über (Boll). Kühne konnte auch den durch Licht veränderten Farbstoff darstellen, er benennt ihn als Sehgelb und das farblose Endprodukt, welches durch Belichtung des Sehgelb erzeugt wird, Sehweiss. Die Purpurfarbe haftet in der lebenden Retina in den Aussengliedern der Stäbchen, ob den Retinalzapfen durchgängig der Sehpurpur mangelt, wie Kühne annimmt, scheint noch nicht vollkommen sicher gestellt zu sein. Kühne vermisste den Sehpurpur in der Netzhaut der Ringelnatter, welche nur Zapfen besitzt, auch in den zapfenreichen Augen der meisten Vögel und Reptilien, namentlich bei jenen, welche an der Basis der Zapfenaussenglieder gefärbte Oeltropfen besitzen (cf. unten S. 816), lässt sich der Sehpurpur meist nicht oder nur spurweise auffinden. Dagegen ist die Retina der Nachtraubvögel, namentlich der Eulen (M. Schultze), tief purpurroth gefärbt. Das Ausbleichen des Sehpurpurs im Licht ist ein chemischer Vorgang, der unter Mitwirkung von Sauerstoff und Säuren auch durch Electrolyse (Valentin), durch Essigsäure (Boll), durch Ozon schon im Dunkeln (Kühne und Ewald) erfolgt, also eine Oxydation. Damit war der Beweis geliefert, dass das Licht als solches chemische Wirkungen in der Retina hervorbringt. Die Studien Boll's über die Einwirkung des Lichtes verschiedener Wellenlänge ergaben, dass es nicht die chemischen Strahlen des Spectrums sind, welche die Veränderung des Sehpurpurs veranlassen, da die ultravioletten Strahlen vollkommen wirkungslos bleiben. Die ersten Angaben Boll's, dass unter der Einwirkung des Lichts verschiedener Wellenlänge der Sehpurpur sich der einwirkenden Lichtwellenlänge entsprechend verfärbe, also aus roth in gelb, grün, blau, violett übergehe, fanden keine Bestätigung. Kühne fand wie Boll, dass der Sehpurpur in concentrirteren Lösungen von dem Lichte des Spectrums Alles absorbirt, ausser roth, orange und gelb, in grösster Verdünnung des Farbstoffs verschwindet vom Spectrum zuerst das Gelbgrün. Alles sichtbare Licht bleicht den Sehpurpur, aber bei gleicher Intensität in sehr verschiedener, der eben erwähnten Absorption des monochromatischen Lichts entsprechender Weise, roth am wenigsten. Kühne ist geneigt, der Bleichung des Sehpurpurs keine eigentlich active Rolle bei dem Akte der Lichtempfindung, namentlich der Farbenempfindung zuzuschreiben, da das Auge, welches durch längeren Aufenthalt im Lichte entpurpurt ist, doch noch aller Licht- und Farbenempfindungen fähig sei und der Ort des directen Sehens, die nur Zapfen führende Fovea centralis und ihre nächste Umgebung, die Macula lutea, keinen Sehpurpur besässen. Doch sind über die letzte Angabe die Akten noch keineswegs geschlossen. Horner sah die Fovea des Menschenauges in situ kirschroth, auch Kühne bemerkte darauf hin eine Färbung, welche er jedoch nicht als kirschroth gelten lässt. Schmidt-Rimpler beobachtete, dass die Macula lutea während des Lebens gelb gefärbt sei, und Kühne konstatirte, das das Sehgelb, wie auch das Sehbraun, in den Zellen des Retinalepithels, analog wie der Sehpurpur, lichtempfindlich sind, vom Licht zersetzt und gebleicht werden. Mit Ayres bestätigte er seine schon anfänglich gemachte Beobachtung, dass die Bleichung der Retina im lebenden Auge langsamer als im ausgeschnittenen, nicht mehr vom Blute durchströmten Auge erfolgt, und dass der vom Lichte gebleichte, zersetzte Sehpurpur sich im lebenden Auge rasch wieder ersetzt und zwar aus dem Pigmentepithel der Retina. In der todten, vollkommen gebleichten Retina findet kein Ersatz des Sehpurpurs mehr

statt, daher geben nur todte Augen scharfe Optogramme. Die Absonderung des Sehpurpurs vergleichen beide Autoren mit einer Sekretion. Pilokarpin, welches die meisten Sekretionsprocesse steigert, beschleunigt auch den Ersatz des Sehpurpurs im lebenden Auge, doch konnte directer Nerveneinfluss von Sympathikus oder Trigeminus aus nicht nachgewiesen werden. An der in den verschiedenen Netzhautpartien verschiedenen Empfindungsfähigkeit für Roth scheint sich nach Kühne der Sehpurpur nicht direct zu betheiligen. Er konnte nämlich an der Retina des Menschen (dagegen doch an der des Rindes) keine stufenweise Abnahme der Rothfärbung constatiren, letztere hört etwa 2—4 mm weit von der Ora serrata mit scharfem Rande auf, sodass hier eine farblose, Stäbchen führende Randzone existirt. —

Kälte und höhere Wärme (— 6⁰ C. und + 50 — 60⁰ C.) zerstören den Sehpurpur (Valentin).

Auch die gelben, gelbgrünen, grünen, rubinrothen Pigmente in den Fettkugeln der Zapfen der Vögel- (und Reptilien-)Retina, welche er ebenfalls isolirte, fand Kühne wenn auch in geringerem Grade lichtempfindlich; Ozon entfärbt sie gleichfalls. Auch Haemoglobin wird vom Lichte in seiner Farbe verändert, und zwar ins rothgrüne.

M. Schultze machte darauf aufmerksam, dass der gelbe Farbstoff der Macula lutea, welchen die zu der Zapfenschicht strebenden Lichtstrahlen durchsetzen, einen ziemlichen Theil der violetten und blauen Strahlen des Spectrums absorbirt. Er deutete an, dass eine Zunahme des gelben Pigments Violettblindheit (cf. unten) veranlassen könnte, und machte auf individuelle Schwankungen in der Intensität des Farbstoffs aufmerksam, die bei dunklen Augen bedeutender sei als bei blauen. Der Farbstoff des Blutes in dem ziemlich engen Kapillarnetze der ganzen Netzhaut soll nach M. Schultze auf das eindringende Licht eine analoge Wirkung ausüben. Trotz der Lücken in dem Kapillarnetze (die Fovea centralis ist ganz gefässlos) komme diese Wirkung zur Geltung, indem Veränderungen im Blute, welche dessen Absorptionsvermögen für gewisse Lichtstrahlen verändern (z. B. bei Santonin-Vergiftung), auch anormale Farbenwahrnehmungen bedingen könnten.

Die Netzhaut und zwar die Stäbchen-Zapfenschicht fluorescirt (Helmholtz) was W. v. Bezold und Engelhardt auch für die lebende Netzhaut bewiesen. Kühne und Ewald halten die Anwesenheit von Schweiss für die Ursache der Fluorescenz.

Die Diathermansie der Augenmedien. — Die durchsichtigen Augenmedien absorbiren einen beträchtlichen Antheil der sie treffenden dunklen Wärme, einen Theil lassen sie durch sich hindurch treten, nach F. Klug gelangen nahezu $^1/_5$ der dunklen Sonnenstrahlen, welche in das Auge eintreten, zur Netzhaut, $^4/_5$ werden absorbirt. Der Glaskörper verhält sich hierin am ähnlichsten dem Wasser, verhältnissmässig bedeutend ist die Absorptionskraft der Linse.

Die Krystalllinse.

Die Krystalllinse stellt eine durchsichtige, farblose biconvexe Linse dar, deren hintere Fläche stärker als die vordere gewölbt ist. Der Körper der Linse wird von einer glatten, structurlosen, glashellen, elastischen Hülle, der Linsenkapsel umschlossen, deren vordere Hälfte dicker ist als die hintere.

Die eigentliche Linsensubstanz zeigt in den äusseren Schichten eine fast gallertartige Konsistenz, die inneren Schichten, der Linsenkern ist konsistenter. Die frische Linse ist sehr elastisch und dehnbar, sie gibt jeder äusseren Gewalt leicht nach und kehrt schnell und vollkommen in ihre frühere Form zurück. Unter der vorderen Wand der Linsenkapsel (Kölliker, Babu-

cus) findet sich ein Epithel, eine bis gegen den Linsenäquator hinaufreichende Schicht polygonaler Zellen. Letztere sind auf der Vorderfläche der Linse flach, glasartig durchsichtig und erscheinen frisch vollkommen structurlos. Die Hauptmasse der Linse besteht aus den Linsenfasern, sie sind nichts anderes als kolossal in die Länge ausgezogene, metamorphosirte Zellen der eben beschriebenen Zellenlage. Diese Zellen verlängern sich zuerst in der Nähe des Linsenrandes, weiterhin wächst ihre Länge fort und fort, und sie gehen aus der perpendiculären in eine schräge Stellung über, ihre vorderen Enden biegen sich nach aussen gegen die Schichten der inneren Epithelzellen zu.

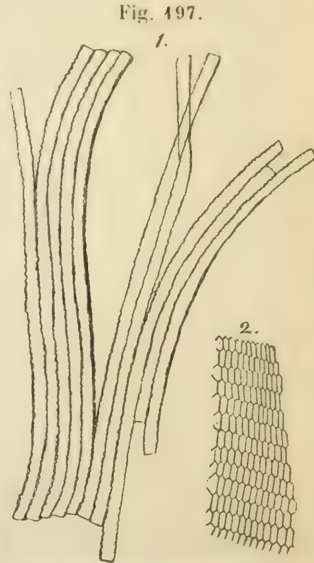
In den tieferen Linsenpartien vereinigen sich die Fasern zu concentrischen Schichten, welche sich wie die Schalen der Zwiebel decken; die Enden der Fasern stossen mit den von der entgegengesetzten Seite herkommenden in einer Art von Naht zusammen. Bei dem Menschen umgreifen die Fasern immer nur

Fig. 196.



Meridionaler Schnitt durch die Axe der Menschenlinse.

Fig. 197.



Linsenröhren oder Linsenfasern. 1. Vom Ochsen mit leicht zackigen Rändern. 2. Querschnitt der Linsenröhren vom Menschen. 350mal vergr.

einen Theil der Linse, und zwar so, dass die »Nähte« eine Art Stern darstellen, welcher in der ganzen Linse des Neugeborenen und im Linsenkern der Erwachsenen drei ausgezeichnete Strahlen erkennen lässt, welche mit einander Winkel von 120° machen. Der Stern der hinteren Fläche ist zu dem der vorderen um 60° gedreht. In den äusseren Schichten spalten sich bei dem Erwachsenen die Strahlen vielfach in Nebenstrahlen, so dass viel verwickeltere Verhältnisse sich ergeben.

Die Linsenfasern (Fig. 197) sind lange, platte, auf dem Querschnitte sechsseitige Bänder, sie liegen, indem die etwas ausgezähnelten Ränder der benachbarten Fasern in einander greifen, dicht neben einander. Auf dem Querschnitt beträgt der kurze Durchmesser der Fasern 0,0056—0,0112 mm, der

lange 0,02 mm. Ihre breitere Fläche liegt der Linsenoberfläche zugewendet. In den äusseren Faserlagen sind die Fasern, die hier noch einen deutlichen Kern zeigen, weicher, breiter als im Innern der Linse.

Die chemischen Bestandtheile der Linse sind vorwiegend Eiweissstoffe: Globulin, Kalialbuminat und Serumeiweiss. Ausserdem: Fett, Cholesterin in geringen, aber im Alter zunehmenden Quantitäten, dann 0,5% Aschenbestandtheile und, nach den Schichten verschieden, etwa 60% Wasser. Die Linsenkapsel besteht nicht aus elastischer, sondern aus Albuminsubstanz (Ewald und Kühne).

Die Krümmung der Linse hat Helmholtz mit dem Ophthalmometer in ganz analoger Weise am lebenden Auge bestimmt, wie die Krümmung der Hornhaut. Aus ihren Verbindungen im Auge von der Zonula Zinnii, ligamentum suspensorium lentis getrennt, verändert sie ihre Gestalt, sie wird stärker gekrummt, dicker, kugeliger, zum Beweise, dass sie im Auge für gewöhnlich durch die ziemlich straff angespannte, ihren aequatorialen Rand umgreifende Zonula von den Flächen her etwas gepresst und dadurch abgeflacht ist (cf. unten). Die Resultate der Linsenmessung folgen bei der Lehre von der Accommodation. Krause erklärt nach seinen Messungen an der ausgeschnittenen Linse ihre Vorderfläche als ein Stück eines abgeplatteten Rotationsellipsoids, die hintere für ein Rotationsparaboloid.

Das Brechungsvermögen der Linse nimmt von aussen nach innen zu, indem die Innenschichten der Linse am dichtesten sind. Das Licht wird also beim Eintritt in jede neue Linsenschicht wieder neu gebrochen. Das Wachsthum des Brechungsvermögens der Linse ist von aussen nach innen ein ziemlich stetiges, so dass daher der Weg des Lichts durch die Linse nicht geradlinig ist, wie durch eine homogene Glaslinse, sondern krummlinig. Das Experiment zeigt, dass in Folge dieses Baues die Linse ein stärkeres Brechungsvermögen hat, als es sich aus ihrer Krümmung und ihrer mittleren Dichtigkeit berechnen würde; ihre Brennweite ist sogar kürzer als sie nach der Rechnung sein müsste bei derselben Krümmung und wenn die ganze Linse die Dichtigkeit ihrer Centralschichten besässe.

Die Substanz der Linse ist doppelbrechend, zwischen gekreuzten Nikols zeigt die Linse das schwarze Kreuz mit farbigen Ringen, wie senkrecht zur optischen Axe geschnittene einaxige Krystalle. —

Glaskörper und Zonula Zinnii.

Der Raum zwischen Hinterfläche der Linse und Netzhaut wird vom Glaskörper ausgefüllt, er bildet die Hauptmasse des Augeninhaltes. Im Allgemeinen ist seine Gestalt kugelig, vorne vertieft er sich zur tellerförmigen Grube, in welcher die Linse, von ihrer Kapsel umschlossen, befestigt ist. Von der Papilla N. optici bis zur hinteren Fläche der Linsenkapsel verläuft ein 2 mm weiter Canal: Canalis hyaloideus. Vom Rande der Linse bis zu den Firsten der Ciliarfortsätze ist seine Oberfläche frei und der Zonula Zinnii zugekehrt. Den kapillaren Zwischenraum zwischen diesem freien Theil der Glaskörperoberfläche und der Zonula bezeichnet man als Petit'schen Canal (cf. Fig. 191, S. 796), welcher den ganzen freien Aequatorialrand der Linse umgreift (Iwanoff). Der übrige Theil des Glaskörpers wird von der Membrana limitans interna retinae (Henle, Iwanoff) begrenzt, die ihm bis zur Ora serrata direct anliegt (Membrana limitans hyaloidea), von hier an schieben sich zwischen Glaskörper und Grenzhaut, welche auf die Pars ciliaris retinae übergeht, meridional verlaufende Fasern ein, Zonula Zinnii oder Ligamentum suspensorium lentis, welche sowohl mit dem Glaskörper bis zur Gegend der

Ciliarfortsätze, als mit der Grenzhaut verwachsen sind. STILLING zeigte, dass der peripherische Theil, die Rinde des Glaskörpers, geschichtet ist, während der centrale Theil, der Kern, homogen erscheint. Gegen die Linse zu verdünnt sich die Rindenschicht continuirlich, so dass an der Ora serrata der Kern von der Limitans nur durch eine dünne faserige Lage getrennt wird, die sich gegen die tellerförmige Grube umschlägt und diese bedeckt (IWANOFF, vorderer Abschnitt der Hyaloidea der Autoren). In den oberflächlichen Glaskörperschichten finden sich Zellen, in den tieferen Schichten nur noch Derivate derselben, Kerne mit geschrumpften Bläschen, Körnchenhaufen etc. IWANOFF unterscheidet im Glaskörper runde Zellen mit grossem Kern, spindel- und sternförmige Zellen, und runde Zellen, die im Innern eine grosse, runde, durchsichtige Blase enthalten, alle drei Formen sind contractil. Im Glaskörper und zwar im hinteren Drittel des erwachsenen menschlichen Auges, befindet sich nach L. LOWE normal ein mit lymphatischer Flüssigkeit gefüllter Hohlraum: hintere Glaskörperhöhle oder dritte (?) Augenkammer. In dieser Flüssigkeit befindet sich der Sitz einer Anzahl entoptisch wahrzunehmender beweglicher Objecte. Die Höhle entsteht durch Verflüssigung der hinteren Glaskörperpartie.

Die **Zonula Zinnii, das Ligamentum suspensorium lentis** bezieht den elastischen gleichende Fasern aus dem Glaskörper, die in der Umgebung der Ora serrata sich erheben, mit der Membrana limitans der Pars ciliaris retinae verbunden, nach vorne laufen und sich zum Aequator der Linse begeben, wo sie sich ansetzen. Die Zonula wird, indem sie der Oberfläche der Ciliarfortsätze folgt, wie eine Halskrause gefaltet. Der äussere Rand dieser Falten entspricht den Eintiefungen zwischen je zwei Ciliarfortsätzen, der innere Faltenrand, der sich der Glaskörperoberfläche nähert, entspricht den Gipfeln der Ciliarfortsätze. Bekanntlich lässt sich der Canalis Petiti nach dem Abziehen der Ciliarfortsätze vermittelst Einstichs aufblasen, wodurch die Falten der Zonula nach auswärts gewölbt werden und so nach oben Buckel bilden: PETIT's Canal godronné. Die vorderen Faltenränder sind fest mit dem Ciliartheil der Netzhaut, diese mit der Pigmentschicht verbunden, so dass hier das ganze System von Membranen zusammenhängt, und in seiner Spannung durch den M. tensor choroideae beeinflusst werden kann.

Das Ligamentum suspensorium lentis sichert die Stellung der Linse, indem sie diese an die Ciliarkörper heftet; sie übt aber auch, wenn sie, wie im ruhenden Auge, gespannt ist, auf den Aequatorialrand der Linse, d. h. der Linsenkapsel einen Zug aus, welcher die Aequatorialdurchmesser der Linse verlängert, ihre Dicke in der Axe verringert und ihre Flächen abplattet (HELMHOLTZ). Ihre Spannung kann durch die Contraction des Tensor choroideae verringert werden, wodurch umgekehrt die Flächen der Linse stärker gewölbt werden. Darauf beruht im Wesentlichen die Fähigkeit des Auges zur Accommodation für verschiedene Entfernungen.

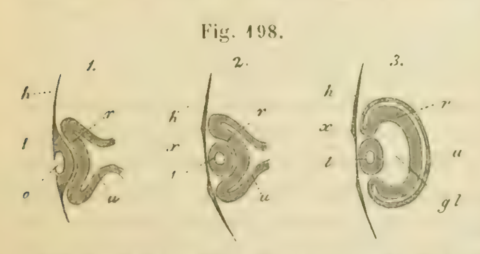
Die Glaskörperflüssigkeit zeigt alkalische Reaktion und zwischen 1.7—2 % feste Stoffe, die zur Hälfte aus anorganischen Stoffen bestehen: Kochsalz, kohlensaures Natron, Kalk, Schwefelsäure und Phosphorsäure. Unter den organischen Stoffen zeigen sich Spuren von Albuminaten und Harnstoff (PICARD). Die morphologischen Bestandtheile sollen Mucin enthalten.

Der Humor aqueus, die wässerige Feuchtigkeit, welche die Augenkammer erfüllt, enthält nur eine Spur Globulin (fibrinoplastischer Substanz), 0,9 % Salze mit Kochsalzen und Extraktivstoffen, darunter Harnstoff (Wöhler).

Das Auge im Schlaf. — Während des normalen Schlafes sind die Pupillen nur stecknadelkopfgross, jeder Reiz, welcher die Schlaftiefe mindert, erweitert die Pupille. Im Schlafe ist die Cornea mit einer zähen Flüssigkeit bedeckt, die Conjunctiva etwas injicirt. Beim Einschlafen senkt sich das obere Lid, die Lidspalte wird kleiner, der Bulbus tritt zurück und seine Spannung wird wohl etwas geringer. Im Schlafe nehmen die Augen eine Art Gleichgewichtsstellung ein mit parallelen, in die Ferne gerichteten Sehaxen, während sie sich beim Einschlafen convergirend nach oben gerollt hatten. W. Sander schliesst daraus, dass beim Schlaf des Gehirns ein Reiz in Wirksamkeit trete, dass die Zustände des psychischen Organs einen directen und unmittelbaren Einfluss auf das physiologische Verhalten der Augen haben (cf. S. 807).

Zur Entwickelungsgeschichte des Auges. — Erste Anlage der drei höheren Sinnesorgane. — Götte hat bei Teleostiern (Knochenfischen) und zwar am Forellenkeim die ersten Stadien der Bildung der drei höheren Sinnesorgane: Auge, Ohr, Geruchsorgan untersucht, sie gehen in folgender Weise aus der Axenplatte, einer schildförmigen Verdickung des Ektoderm, der gemeinsamen Anlage des Centralnervensystems und der drei höheren Sinnesorgane, hervor. Die Axenplatte sondert sich durch Zusammenziehung von beiden Seiten gegen die Medianebene ihrer ganzen Länge nach in drei Theile, einen unpaaren medianen Kiel (Rückenfurche S. 46) und jederseits diesem angeschlossen einen Seitentheil, Sinnesplatte, das an den Seiten des Kopfes stärker entwickelt ist, als an den Rumpfseiten. Diese Sinnesplatten werden am Rumpf ganz, am Kopf aber nur theilweise in die Bildung der hohlen Anlage der Hirn-Rückenmarksaxe einbezogen. Im hinteren Abschnitt des Kopfes schnürt sich eine Partie der Sinnesplatten jederseits vom Gehirn und von der Oberhaut vollkommen ab und bildet das Gehörbläschen. In der vorderen Kopfhälfte, wo die Seitentheile mächtiger entwickelt sind, löst sich auf jeder Seite eine grössere Partie der letzteren von der Oberhaut vollkommen los, schnürt sich aber vom Gehirn nicht vollkommen, sondern nur bis zu ihrem vorderen Ende ab, daraus bildet sich die horizontal liegende Augenblase mit der stielförmigen Anlage des Optikus. Vor den Augen bleiben dagegen die Sinnesplatten in vollkommener Verbindung mit der Oberhaut, trennen sich aber vollkommen von dem Gehirn los und bilden die Nasengruben. Die Anlagen der drei höheren Sinnesorgane erscheinen als aus der allgemeinen Centralnervensystems-Anlage ausgesonderte Theile des letzteren. Kölliker beschreibt die erste Anlage der Augen als zwei Blasen: primitive Augenblasen, seitlich an dem ersten Abschnitt der embryonalen Gehirnanlage, von dem sie sich mittelst eines hohlen Stieles: primitiver Opticus abschnüren und in der Folge an die untere Hirnfläche (Zwischenhirn) herabrücken. Die primitive Augenblase liefert die Retina und deren Pigmentschicht, welche man bisher als innere Pigmentschicht der Choroidea bezeichnete. Die äussere Bedeckung der Augenblase bildet das Hornblatt. Haben die Augenblasen ihre bleibende Stellung erlangt, so beginnt an ihrem, dem Stiele entgegengesetzten Pole eine Wucherung des Hornblattes, die sich endlich zur Linse abschnürt und die Blase von ihrer vorderen Seite

Fig. 198.



Längsschnitte des Auges von Hühnerembryonen nach Remak. 1. Von einem etwa 65 Stunden alten Embryo. 2. Von einem nur wenige Stunden älteren Embryo. 3. Von einem viertägigen Embryo. *h* Hornblatt, *l* Linse bei 1 noch sackförmig und mit dem Hornblatte verbunden, bei 2 und 3 abgeschnürt, aber noch hohl, *o* Linsengrube, *r* eingestülpter Theil der primitiven Augenblase, der zur Retina wird, *u* hinterer Theil der Augenblase, der, wie Remak glaubt, zur gesammten Uvea wird und bei 1 und 2 durch den hohlen Sehnerven mit dem Gehirn verbunden ist, *x* Verdickung des Hornblattes um die Stelle, von der die Linse sich abgeschnürt hat, *gl* Glaskörper.

her einstülpt. Endlich legt sich die vordere Augenblasenwand ganz an die hintere an, so dass aus der Blase nun ein doppelblättriges, becherförmiges Gebilde entstanden ist, das mit seinem vorderen Rande die Linse umfasst (Fig. 198).

Gleichzeitig beginnt nun auch die Cutis der unteren Kopffläche hinter der Linse, gegen die primitive Augenblase und ihren hohlen Stiel zu wuchern und stülpt ihre untere Wand ein, welche sich gegen die obere Wand anlegt. Die Optikusanlage wird dadurch zweiblättrig und rinnenförmig. Die durch diese Einstülpungen entstandene doppelwandige Blase mit weiter seitlicher Spalte heisst nun die secundäre Augenblase. Ihre Höhle communicirt nicht mehr mit den Hirnhöhlen, es ist dieselbe ein von der Aussenseite der primitiven Augenblasen her, durch die Einstülpung der Linse und der Glaskörperanlage entstandener Hohlraum. In Folge der weiteren Entwickelung verwächst die Spalte der secundären Augenblase und des primitiven Sehnerven, indem sie den in sie hineingewucherten Theil der Cutis als Glaskörper und als die bindegewebige Axe des Sehnerven mit den Vasa centralia abschnürt. Die Hülle des Auges: Sclerotica und Hornhaut, und wohl auch die Choroidea stammt vom mittleren Keimblatt (den Kopfplatten).

Vor der Entwickelung der Stäbchen und Zapfen ist das hintere nervöse Blatt der primären Augenblase gegen das vordere, das Pigmentepithel, durch eine deutliche Limitans externa scharf abgegrenzt. Beim Hühnchen bildet sich um den 7.—10. Bruttag in dem nervösen Netzhautblatte eine deutliche Schichtung aus, indem die innere Faserschicht und die beiden granulirten Schichten erkennbar werden, gleichzeitig sprossen nach hinten über die Limitans externa hinaus die Anfänge der Stäbchen und Zapfen hervor in Form kleiner, dünner, halbkugeliger Höckerchen von homogener Beschaffenheit. Zuerst bilden sich die Innenglieder, später die Aussenglieder, welche in die Zellen des Pigmentepithels hineinwachsen, von denen sie scheidenartig umfasst werden (M. Schultze, S. 811). Nach Babuchin's Beobachtungen an der Froschretina entstehen die Stäbchen und Zapfen durch Auswachsen der äusseren Körner der Netzhaut. Dem Obigen analog sind Schenk's Angaben über die Fischretina. M. Schultze möchte die Bildung wenigstens der Aussenglieder aus den Körnern an die Cuticularbildungen anreihen. Wann bei dem Menschen sich die Stäbchen und Zapfen entwickeln, ist noch unbekannt, beim Neugeborenen sind sie schon gut entwickelt. Bei blindgeborenen Jungen von Kaninchen und Katzen bilden sie sich erst nach der Geburt.

Die Linse ist nach diesen Beobachtungen ein Epidermisgebilde, sie liegt zunächst als dickwandige Blase in der vorderen Einstülpung der primitiven Augenblase. Die Linsenwandung besteht aus cylindrischen, radiär gestellten Zellen, welche später zu den Linsenfasern auswachsend die Linsenhöhle erfüllen. Ein bleibender Rest der Zellen bildet, wie wir oben sahen, das innere Linsenepithel. Die Linsenkapsel hält Kölliker für eine Cuticularbildung der Linsenzellen. Nach Sernoff's Beobachtungen am Hühnchen bleibt bei der Einstülpung zwischen Linse und Augenblase eine bindegewebige Platte (des 2. Blatts), aus der sich die Linsenkapsel und die Membrana pupillaris entwickelt. Die Linse ist bei Embryonen und noch beim Neugeborenen kugeliger als beim Erwachsenen, die Zonula Zinnii ist dann noch nicht gespannt. Der Glaskörper besteht von Anfang an aus einer homogenen Grundsubstanz mit eingestreuten Zellen, vorzüglich in den oberflächlicheren Schichten. Linse und Glaskörper sind bei dem Embryo von einer »gefässhaltigen Kapsel« umschlossen, die man bei dem Erwachsenen normal nicht mehr findet. Am frühesten wurde der Theil der Gefässkapsel bekannt, welche die embryonale Pupille umschliesst: Membrana pupillaris. Ein Theil der Gefässe auf der Vorderfläche der Linse wird von den Gefässen der Iris geliefert, die übrigen Gefässe der Hülle stammen aus der Arteria centralis retinae. Diese entsendet bei ihrem Eintritt in den Bulbus die feine Arteria hyaloidea oder capsularis, welche in dem obengenannten Canalis hyaloideus durch die Mitte des Glaskörpers der Linse zu läuft; ehe sie diese erreicht, spaltet sie sich in pinselförmige Aeste, welche sich auf der hinteren Wand der Linse verbreiten, aber auch den Rand derselben mit feinen Zweigen umgreifen. G. v. Öttingen sah sie in zwei Fällen im späteren Lebensalter persistiren. Der angeborene Pupillarverschluss

(Atresia pupillae congenita) beruht auf der hier und da bei Neugeborenen noch vorhandenen Pupillarmembran. Die Vögel besitzen keine Membrana pupillaris (Haller).

Die Choroidea endigt Anfangs am Linsenrande, erst am Ende des zweiten Monats beginnt die Iris als eine zuerst ungefärbte kreisförmige Hautschicht hervorzuwachsen. Der Rand der secundären Augenblase, deren innere Lamelle zur Retina, die äussere zum Retinalpigment wird, umgreift anfänglich den Linsenrand. In der zweiten Hälfte der Embryonalentwickelung bleibt der vordere Theil der secundären Augenblase (der Retina) in der Entwickelung zurück und liefert in der Folge die Pars ciliaris retinae, die, wie wir wissen, keine nervösen Elemente besitzt. Die gelbe Färbung des gelben Flecks soll bei dem Embryo und Neugeborenen nicht sichtbar sein, sonstige Beobachtungen über Retinalpigmente fehlen.

Die Augenlider zeigen sich im Anfang des dritten Monats als niedrige Hautfalten, im vierten berühren sie sich und verkleben mit ihren Rändern, öffnen sich aber normal wieder vor der Geburt. Die Thränendrüsen entstehen nach dem Schema der Speicheldrüsen (S. 272) im Anfang des vierten Monats, die Meibom'schen Drüsen erst im sechsten Monat aus soliden Wucherungen des Epithels der Augenlidränder.

Zur vergleichenden Anatomie. — (Gegenbaur.) Bei den niederen Medusen (Craspedoten) erscheinen als erste Andeutung von Sehorganen blosse Pigmentflecke an der Tentakelbasis, welche in der Regel keine weiteren lichtbrechenden Medien enthalten, bald sind stark lichtbrechende Körper im Pigment eingelagert, die an die Krystallstäbchen anderer niederer Thiere erinnern. Die Randkörper der höheren Medusen, denen die Bedeutung von Sinnesorganen zukommt, sind ihrer Funktion nach sicher wenigstens nicht ausschliesslich für Sehorgane zu halten. Bei vielen niedern Würmern (Turbellarien, Trematoden, Nemertinen, Räderthieren), auch bei Tunicaten finden wir als Andeutungen eines Sehorgans vielfach nur Pigmentflecke, welche symmetrisch geordnet entweder unmittelbar auf dem Centralnervensystem aufsitzen oder von ihm Nervenzweige erhalten. An Stelle dieser Pigmentflecke finden wir bei nahe stehenden Arten deutlich ausgebildete Augen, wo das Pigment als Hülle eigenthümlicher, zu lichtbrechenden Apparaten modificirter Zellen, der Krystallstäbchen, auftritt, welche wir als Endapparate lichtempfindlicher Nerven betrachten dürfen (Turbellarien, hier und da auch bei Nemertinen). Bei den Hirudineen erscheinen (Leydig) die Augen als becherförmige Vertiefungen im Integument, sehr ähnlich den becherförmigen Tastorganen oder Geschmacksorganen in der Oberlippe dieser Thiere, von denen sie sich durch starke Pigmentumlagerung unterscheiden. Grosse, glashelle Kugeln (Zellen?) kleiden die Wand des Bechers aus, seine Mündung wird von modificirten Epidermiszellen eingefasst. Durch die Zellen des Grundes tritt ein Nervenstrang hindurch und endigt frei nach aussen mit einer leichten papillenförmigen Erhebung, auf welcher Endstäbchen zu erkennen sind. Die Organe functioniren abwechselnd für drei Sinnesempfindungen, es sind Uebergangssinnesorgane (J. Ranke), mit denen das Thier tastet, schmeckt und, indem es durch seitlichen Druck die Glaskugeln zu einer zusammengesetzten halbkugeligen Cornea hervorwölbt, sieht. Die Augen der Anneliden zeigen sich sehr verschieden und erreichen zum Theil schon eine auffallende hohe Ausbildung des Baues. Bei Branchiomma sind die einzelnen Fäden der Kiemenbüschel des Kopfes mit vielfachen Augen besetzt. Bei den Echinodermen vertreten meist nur Pigmentflecke die Sehorgane. Bei den Seesternen lagern aber zusammengesetzte Augen auf der gewöhnlich aufwärts dem Lichte zugebogenen Spitze jedes Armes, viele, oben kugelige Krystallstäbchen, jedes von einer Pigmentscheide umgeben, in ihrer Gesammtheit von einer Epithellage mit Cuticula bedeckt, stehen auf einer kugeligen Markmasse auf, das Ende des Ambulacralnerven fungirt als Sehnerv.

Bei den Arthropoden betheiligt sich neben den lichtempfindlichen Theilen, den Krystallstäbchen mit Pigmentscheiden, an dem Bau des Auges auch meist ein Abschnitt der äusseren Leibesdecke, der Chitinhülle, welche über dem Auge zu einem zusammengesetzten, corneaähnlichen, lichtbrechenden Organ wird. Die meist sehr grossen Krystallstäbchen haben trotz mannigfacher Differenz im Allgemeinen die Form eines umgekehrten Kegels oder eines

mehrseitigen Prismas, sie treten mit Nervenfasern in Zusammenhang. Das immer nach aussen gewendete Ende der Krystallstäbchen ist stärker lichtbrechend als der innere Abschnitt, der sich immer mehr in seinem Aussehen den Nerven annähert. Die Chitindecke des Auges, welche wie gesagt die Stelle der Cornea vertritt, ist durchsichtig und pigmentfrei, häufig wölbt sie sich nach aussen vor und verdickt sich nach innen, so dass sie dadurch die optische Wirkung einer Linse oder vieler Linsen erlangt. Längs der Krystallstäbchen verlaufen Muskelfasern, welche diese zum Zwecke der Accommodation der Cornea nähern können. Die Bildungen sind im Einzelnen sehr mannigfach, Gegenbaur zählt folgende Hauptformen auf:

I. Augen ohne lichtbrechende Cornea.

1. Einfaches Auge. Es besteht aus einem von Pigment umhüllten Krystallstäbchen, von der Chitinhülle entfernt, welche sich am Bau des Auges nicht betheiligt. Diese Form, welche bei den niederen Crustaceen vorkommt, schliesst sich an die bei Würmern (Turbellarien, Nemertinen etc.) beobachteten Sehorgane an.

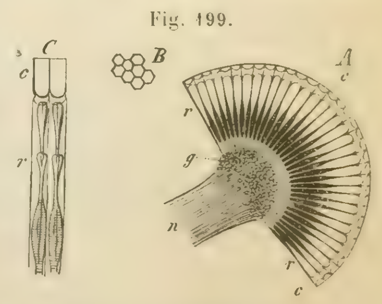
2. Zusammengesetztes Auge, wie das einfache, nur sind hier mehrere Krystallstäbchen zu einem Auge vereinigt (niedere Crustaceen).

II. Augen mit Cornea.

1. Einfaches Auge, gebildet von einem meist grossen Krystallstäbchen, von welchem das Integument zu einem linsenartigen Körper verdickt ist (Corycäiden).

2. Zusammengesetztes Auge: a) mit einfacher Cornea. Mehrere zu einem Auge vereinigte Krystallstäbchen werden von einer gemeinsamen, linsenförmig gewölbten Cornea überzogen (Arachniden); b) mit mehrfacher Cornea. Um eine halbkugelige Sehnervenanschwellung sind zwei bis mehrere Tausend radiär geordnete, durch Pigment von einander getrennte Krystallstäbchen zu einem kugelig gewölbten Auge vereinigt. Die Chitinhülle des Auges bildet den einzelnen Krystallstäbchen entsprechende, convex nach innen vorspringende Facetten, so dass jedes Krystallstäbchen seine eigene kleine, lichtbrechende Cornealinse besitzt (Fig. 199). Jedes Krystallstäbchen steht so an Stelle eines einfachen Auges zweiter Gattung. (Die einfachen Augen der Krustenthiere und Insecten.) Boll bestreitet das und hält diese Augen insofern für einfache Augen, als sie nur einen Gesichtseindruck vermitteln (cf. oben). Leeuwenhoek hatte zwar gefunden, dass jede der Facetten des zusammengesetzten Auges von den Gegenständen der Aussenwelt ein verkleinertes und verkehrtes Bildchen liefert, aber jede Facette enthält, wie es scheint, nur eine (oder einige?) Nervenfasern, so dass dieses Bildchen als solches nicht percipirt werden kann. Jeder solchen Facette entspricht nun, wie wir oben sagten, ein ziemlich punktförmiges Gesichtsfeld, jede vermittelt nur einen einfachen Lichteindruck (J. Müller). Das wird noch dadurch wahrscheinlicher, dass der Leeuwenhoek'sche Versuch auch mit der Retina der Amphibien und Reptilien (Schlangen) gelingt, bei welchen die Retinalelemente auch gesonderte Bildchen entwerfen (M. Schultze, Boll). Bei wirklich zusammengesetzten Augen entspricht das Einfachsehen mit denselben dem Phänomen des Einfachsehens mit zwei Augen bei den Wirbelthieren.

Fig. 199.



A Schematischer Durchschnitt durch ein zusammengesetztes Arthropodenauge. *n* Sehnerv. *g* Ganglienanschwellung desselben. *r* Krystallstäbchen aus dem Ganglion hervortretend. *c* facettirte Cornea, vom Integument gebildet, wobei jede Facette durch Convexität nach innen als lichtbrechendes Organ (Linse) erscheint. *B* einige Hornhautfacetten von der Fläche gesehen. *C* Krystallstäbchen (*r*) mit den entsprechenden Cornealinsen (*c*) aus dem Auge eines Käfers.

Die höchste Ausbildung und Annäherung an das Auge der Wirbelthiere erreicht das Auge der Wirbellosen bei den Mollusken, obwohl auch hier noch sehr einfache Formen, sogar Pigmentflecken vorkommen oder auch die Augen ganz fehlen. Die Augen (HENSEN) der Cephalophoren und Cephalopoden sitzen stets zu zweien am Kopfe des Thiers. Bei den ersteren zeigt der Bulbus des Auges eine dünne äussere Umhüllung, welche nach vorn in eine durchsichtige Cornea übergeht, in der Tiefe des Auges bildet der Sehnerv eine ganglienartige Anschwellung, auf welche die Netzhaut folgt mit einer Pigmentschicht, welcher die Schicht der nach aussen gekehrten Krystallstäbchen aufgelagert ist. Der übrige Raum des Auges wird von einer hinter der Cornea gelegenen Linse und hinter dieser von einer Glaskörpermasse ausgefüllt. Bei den Cephalopoden lagert der Bulbus in einem von den Seitenrändern und Orbitalfortsätzen des Kopfknorpels gebildeten orbitaähnlichen Raume. Pupillenartige Bildungen sowie Augenlider kommen bei ihnen zu dem Auge noch hinzu. Das Auge des Nautilus ist einkammerig und besitzt keine Linse. — Bei Loligo und Sepia erscheint als erste Anlage des Auges ein erhabener elliptischer Wall an der Aussenfläche des Embryo, indem die Wallränder verwachsen, entsteht die primäre Augenblase, wie sie bei Nautilus das ganze Leben sich erhält. Auf dieser entstehen neue wallartige Aufsätze, welche zur Bildung der vorderen Augenblase, Cornea und Iris führen. Die vordere Wand der primären Augenblase »secernirt« als ein reines Cuticulargebilde die Linse, die hintere Wand bildet sich zur Retina um.

Die Augen der Wirbelthiere (nur Amphioxus zeigt als Sehorgan einen auf das centrale Nervensystem aufgelagerten Pigmentfleck ohne Sehstäbchen) stimmen der Hauptsache nach mit dem Bau des Menschenauges überein. Bei allen gehören die lichtempfindlichen Apparate, die Stäbchen und Zapfen, zu den äusseren Netzhautschichten, die Aussenglieder der Stäbchen und Zapfen sind dem in das Auge einfallenden Lichte abgewendet, während bei allen Augen der Wirbellosen die jenen entsprechenden Krystallstäbchen dem Lichte entgegengewendet sind. Es spricht sich darin ein verschiedenes Bauprincip aus, so dass an eine Ableitung der einen Form aus der anderen anatomisch nicht gedacht werden kann (GEGENBAUR).

Die Form des Bulbus zeigt viele Verschiedenheiten (Figg. 200. 201. 202). Er ist bei der Mehrzahl der Säugethiere kugelig; bei den Fischen, den im Wasser lebenden Säugethieren und den Wasservögeln (Schwimm- und Stelzvögeln) ist er von vorn nach hinten, und gleichzeitig auch die Cornea, abgeflacht; bei den Raubvögeln ist namentlich der vordere Theil des Auges und die Cornea stark hervortretend und gewölbt. Bei vielen Wirbelthieren ist in die Sclerotica Knorpel oder sogar Knochen eingelagert, bei Eidechsen, Schildkröten und Vögeln lagert sich im Umkreise der Hornhaut ein Kranz flacher, an einander liegender oder über einander sich wegschiebender Knochenstücke ein, Scleroticalring. Die Form der Pupille

Fig. 200.



Auge von Esox lucius. Horizontalschnitt. c Cornea. p Processus falciformis. s' s' Verknöcherungen der Sclerotica. o Sehnerv.

Fig. 201.



Auge von Varanus. (Warneidechse). Horizontalschnitt. c Cornea. p Processus falciformis. i Iris und Linse.

Fig. 202.



Auge von Falco chrysaetos. Horizontalschnitt (nach W. SÖMMERRING). s Sclerotica.

wechselt zwischen der kreisrunden, querovalen (Selachier, Wiederkäuer und Einhufer), längsovalen (Krokodile und fleischfressende Säugethiere), fast dreieckigen (bei manchen Amphibien und Fischen). Bei Fischen, Reptilien, Vögeln durchsetzt eine Choroidealfalte die Netzhaut, durchzieht meist sichelförmig gebogen den Glaskörper und setzt sich mit einer Anschwellung an den hinteren seitlichen Theil der Linsenkapsel an (Processus falciformis, bei

Vögeln Pecten[1]. Die Choroidea vieler Säugethiere, der Fische, des Strausses, zeigt in grösserer oder geringerer Ausdehnung einen grünlichen oder bläulichen Metallschimmer, nach Brücke eine Interferenzerscheinung, das Tapetum lucidum, welches das Augenleuchten dieser Thiere im Halbdunkel hervorruft; die Form der Linse erscheint sphärisch bei Fischen und Amphibien und den im Wasser lebenden Säugethieren, offenbar dem Sehen im Wasser angepasst. Die in der Pupille und bei der Accommodation thätigen Muskelelemente der Choroidea sind bei Reptilien und Vögeln quergestreift.

In Beziehung auf die Stäbchen und Zapfen kommen in der Netzhaut der Thiere gewisse Verschiedenheiten vor, aus welchen M. Schultze den Schluss zog, dass die Zapfen die farbenpercipirenden Organe der Netzhaut seien, sie dienen aber auch mit den Stäbchen zusammen der allgemeinen Lichtempfindung. Bei im Dunklen lebenden Thieren, bei denen, da im Dunklen keine Farbenunterschiede als solche auftreten, die Farbenempfindung auf ein Minimum reducirt ist oder ganz fehlt, fehlen entweder auch die Zapfen gänzlich (Rochen, Haifische, Flussneunauge, Stör, Fledermaus, Igel, Maulwurf), oder sie sind verkümmert und wenig zahlreich (Eulen, Ratte, Maus, Meerschweinchen). (Dagegen hat neuerdings W. Krause bei all diesen Thieren wahre Zapfen zahlreich neben den Stäbchen wahrgenommen. Andere gern in der Sonne spielende Thiere, denen wir wie den Vögeln mit ihrem farbenprächtigen Gefieder oder den farbenschillernden Schlangen einen sehr entwickelten Farbensinn zusprechen müssen, haben (die Reptilien) nur Zapfen, oder es herrschen die Zapfen auf der Retina vor (Vögel) und sind in beiden Fällen ganz eigenthümlich entwickelt. An der Grenze des Aussen- und Innenglieds die ganze Dicke desselben einnehmend, findet sich eine Oelkugel eingelagert, welche eine meist sehr intensive Färbung zeigt. Von den durchfallenden Lichtstrahlen wird daher nur den der Färbung der Oelkugel entsprechenden der Durchtritt gestattet, so dass nur sie die Erregung der zu dem Zapfen gehörenden Faser bewirken können. Bei Vögeln und Reptilien gibt es auch farblose derartige Kugeln, die meisten sind aber gelb, hellgelb, grüngelb, gummiguttgelb, orange, gelbgrün und grün, dazwischen stehen in regelmässigen Abständen rubinrothe. Sie stellen sich danach als specifische Farbenperceptionsorgane dar, doch scheinen gegen diese Auffassung noch manche gewichtige Gründe zu sprechen. Die ungeschwänzten Batrachier haben derartige farblose oder hellgelb gefärbte Kugeln. Offenbar betheiligen sich alle diese Kugeln durch ihre sphärische Gestalt auch an der Brechung der Lichtstrahlen im Zapfen selbst und reihen sich dadurch an mannigfache farblose lichtbrechende Einlagerungen im Innengliede der Zapfen derselben Thiere an, von denen sich aber auch Andeutungen in den Zapfen der Säugethiere (Schweine) finden (M. Schultze) cf. oben über Retinalpigmente S. 813.

II. Die Dioptrik des Auges.

Einiges über Lichtbrechung in Systemen kugeliger Flächen.

In dem menschlichen Auge findet sich eine Reihe optisch brechender Flächen, welche den Gang der Lichtstrahlen in ihm bedingen. Es sollen die hauptsächlichsten allgemeinen Lichtbrechungsgesetze für einfach brechende Mittel und für eine Reihe von gekrümmten Flächen vorausgeschickt werden, wobei wir uns, soweit es der Raum und unser Zweck gestattet, möglichst an die von Helmholtz gegebene Darstellung anschliessen.

An einer einzelnen brechenden Fläche ist Helmholtz die Lage des zurückgeworfenen und gebrochenen Strahls folgendermassen bestimmt. In Fig. 203 sei ab die brechende Fläche, d. h. die Grenzfläche zweier optisch verschieden brechender Medien, fc ein darauf fallender Lichtstrahl, de die im Punkte c auf ab senkrecht stehende Linie: das Einfallsloth, ch der reflectirte, cg der gebrochene Strahl. Eine durch das Einfallsloth

und den einfallenden Strahl gelegte Ebene heisst: Einfallsebene, der Winkel zwischen einfallendem Strahl und Einfallsloth (α) Einfallswinkel, der Winkel zwischen Einfallsloth und dem zurückgeworfenen Strahl der Reflexionswinkel (γ), und derjenige zwischen dem Einfallslothe und dem gebrochenen Strahle (β) der Brechungswinkel. Der gebrochene und der reflectirte Strahl liegen in der Einfallsebene, der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel ($\alpha = \gamma$). Die Abhängigkeit des Brechungswinkels von dem Einfallswinkel spricht sich darin aus, dass sich ihre Sinus verhalten wie die Fortpflanzungsgeschwindigkeiten des Lichts in den betreffenden beiden Medien. Das Verhältniss der Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Lichtes im Vacuum zu der in einem gegebenen Medium nennt man dessen Brechungsverhältniss oder Brechungsvermögen. Heisst die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Vacuum c, im ersten Medium c_1, im zweiten c_2, n_1 das Brechungsvermögen des ersten, n_2 das des zweiten Mediums, so ist $n_1 = \frac{c}{c_1}$ und $n_2 = \frac{c}{c_2}$. Das Brechungsgesetz selbst lautet: $\sin \alpha : \sin \beta = c_1 : c_2$. Gewöhnlich findet man in der daraus abzuleitenden Form $n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$, aus welcher Gleichung man z. B. den Brechungswinkel oder das Brechungsvermögen des zweiten Mittels etc. berechnen kann, wenn die drei übrigen Grössen gegeben sind. Handelt es sich wie gewöhnlich um das Brechungsvermögen der Luft und eines andern Mediums, so vereinfacht sich die Gleichung, da n_1 das Brechungsvermögen der Luft = 1 gesetzt werden darf, zu $\sin \alpha = n \sin \beta$, wo n das Brechungsvermögen des zweiten Mediums bedeutet. Das Brechungsverhältniss für das Vacuum = 1 ist nämlich von dem der Luft = 1,00029 (bei 0⁰ und 760 mm Druck) so wenig verschieden, dass bei Rechnungen der Unterschied in den meisten Fällen vernachlässigt werden darf.

Fig. 203.

Farbenzerstreuung durch Lichtbrechung. — Im Vacuum und in den verschiedenen Gasarten ist die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der einfachen farbigen Lichtstrahlen nicht verschieden, in tropfbaren und festen Körpern pflanzen sich dagegen die Strahlen von kleinerer Schwingungsdauer, die blauen und violetten, langsamer fort, ihre Brechungsverhältnisse sind sonach gemäss der oben gegebenen Definition grösser als die der übrigen Strahlen, man unterscheidet sie daher, z. B. die violetten, als die brechbareren Strahlen, von den weniger brechbaren, z. B. den rothen Strahlen. Der Weg, welchen die verschiedenen, den weissen Lichtstrahl zusammensetzenden farbigen Lichtstrahlen nach einer Brechung in tropfbaren oder festen Körpern, einschlagen, muss daher im Allgemeinen ein verschiedener sein, die Brechung ist ein Mittel, um sie zu trennen. Kommt in unserer Figur 203 das Strahlenbündel von oben (f) her, und zwar, wie wir voraussetzen, aus einem dünneren Medium, so werden zwar alle gebrochenen Strahlen dem Einfallsloth genähert, die brechbareren violetten Strahlen aber mehr als die weniger brechbaren rothen, erstere werden den Weg nach g, die zweiten nach g_1 einschlagen und sich auf diese Weise von einander trennen.

Brechung an kugeligen Flächen. — Im Auge findet die Brechung an kugeligen oder wenigstens nahezu kugeligen Flächen statt. Fällt das Licht unter sehr kleinem Einfallswinkel auf eine kugelige, brechende Fläche, oder auf ein centrirtes System solcher Flächen, bei welchem alle Mittelpunkte der Kugelflächen in einer geraden Linie, der Axe des Systemes, liegen, so vereinfachen sich in hohem Maasse die Gesetze der Brechung. Wir erwähnen hier zunächst folgende Hauptbrechungsgesetze (Helmholtz):

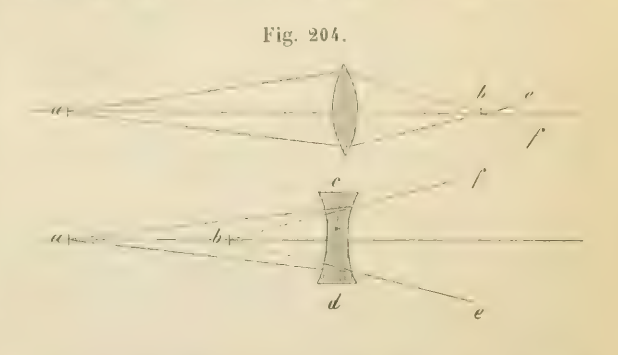
1) Licht, welches ursprünglich von einem Punkte ausgegangen ist, oder im Allgemeinen

Licht, dessen Strahlen hinreichend »verlängert« alle durch einen Punkt gehen — homocentrisches Licht, wird, nachdem es durch ein centrirtes System gegangen ist, und alle brechenden Flächen nur unter kleinen Einfallswinkeln getroffen hat, a) entweder sich in einem Punkt wieder vereinigen wie bei Convexlinsen, b) oder so fortgehen, als käme es alles von einem leuchtenden Punkt her, also wieder homocentrisch sein, wie bei Concavlinsen.

In beiden Fällen nennt man den Convergenzpunkt der Strahlen das optische Bild des ursprünglich leuchtenden Punktes. Da von dem Orte des Bildes ausgehende Lichtstrahlen an der Stelle des ursprünglich leuchtenden Punktes sich wieder schneiden würden, bezeichnet man den Ort des leuchtenden Punktes und den seines Bildes auch als conjugirte Vereinigungspunkte der Strahlen. Reell nennt man das optische Bild, wenn die von dem leuchtenden Punkt ausgegangenen Strahlen im Bildpunkte wirklich zur Vereinigung kommen. Dies kann nur dann eintreten, wenn das Bild hinter den brechenden Flächen liegt. Virtuell nennt man das Bild dann, wenn der Vereinigungspunkt der Lichtstrahlen in ihren rückwärts gelegenen Verlängerungen vor der letzten brechenden Fläche liegt. Im letzteren Falle kommen also im Bildpunkte nicht die Lichtstrahlen selbst, sondern nur ihre gedachten Verlängerungen zur Vereinigung.

2) Convexe Glaslinsen (Brenngläser und Sammellinsen), Brillengläser für Weitsichtige, entwerfen von entfernten Gegenständen reelle Bilder. Ist a der leuchtende Punkt, so werden die von a kommenden Lichtstrahlen in die Richtungen f und e gebrochen und vereinigen sich wirklich in einem Punkte, dem reellen Bilde b. Nach der Schneidung divergiren sie wieder, gerade als wäre b selbst ein ursprünglich leuchtender Punkt (Fig. 204).

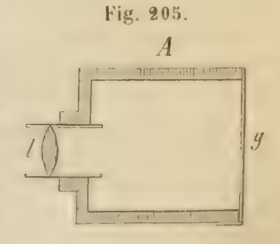
Fig. 204.



3) Concave Glaslinsen (Zerstreuungsgläser, Brillengläser für Kurzsichtige), geben nur virtuelle Bilder. Nicht die Lichtstrahlen selbst, nur ihre »Verlängerungen« treffen sich in b (Fig. 204) und gehen hinter der Linse weiter, als kämen sie von b. Ein hinter der Linse zwischen f und e stehendes Auge glaubt den leuchtenden Punkt in b zu sehen.

4) Liegen mehrere leuchtende Punkte in einer gegen die Axe des brechenden Systems senkrechten Fläche, und zwar der Axe so nahe, dass ihre Strahlen sämmtliche brechende Kugelflächen unter sehr kleinen Einfallswinkeln treffen, so kommen ihre reellen oder virtuellen Bilder alle in einer auf die optische Axe senkrechten Ebene zu liegen, und ihre Vertheilung in dieser Ebene ist geometrisch ähnlich der Vertheilung der leuchtenden Punkte; gehören die leuchtenden Punkte einem Objecte an, so ist das optische Bild dieses Objectes dem Objecte selbst ähnlich.

Fig. 205.



5) Derartige Bilder von Objecten liefert die dem Auge sehr ähnliche Camera obscura Fig. 205. In die vordere Wand eines innen geschwärzten Kastens A, dem man passend die Gestalt eines Auges geben kann, ist eine verschiebbare Röhre eingesetzt, in welche eine oder mehrere Glaslinsen l eingefügt sind. Die Rückseite des Kastens bildet eine matte Glastafel g. Wendet man die Gläser gegen entfernte erleuchtete Objecte und beschattet die matte Glastafel, so sieht man auf ihr das umgekehrte, natürlich gefärbte Bild

der Objecte, welches, wenn die Linse so gestellt ist, dass die (überwiegende Mehrzahl der) von einem Punkte des abzubildenden Objects ausgehenden Strahlen sich je in einem Punkte der matten Glastafel schneiden, sehr scharf gezeichnet erscheint.

a) Zerstreuungsbilder. Man bemerkt dabei, dass die Bilder ungleich weit von der Camera obscura entfernter Gegenstände nicht gleichzeitig deutlich auf der matten Tafel erscheinen. Man muss die Röhre mit der Linse etwas herausschieben, um nähere Gegenstände abzubilden, für entferntere dagegen mehr hineinschieben, da näher an der Linse gelegene Objecte ihre Bilder in grösserer Entfernung hinter ihr entwerfen, als von der Linse weiter entfernt stehende Objecte.

b) Chromatische Abweichung. Haben die Linsen einen grossen Durchmesser im Verhältniss zur Länge des Kastens, so zeigen Ränder heller Flächen in dem Bilde farbige, meist blaue oder gelbrothe Säume. Wie wir sahen, liegen wegen der verschiedenen Brechbarkeit des verschiedenfarbigen Lichtes die Vereinigungspunkte verschiedenfarbiger Strahlen nicht genau in derselben Entfernung hinter der Linse und die Bilder für die verschiedenen Farben decken sich nicht genau. Diese chromatische Abweichung kann aufgehoben werden durch eine passende Verbindung von Linsen, die aus verschieden brechenden Glassorten bestehen, sogenannte achromatische Linsen. Sie bestehen aus einer stärkeren Sammellinse von Crownglas combinirt mit einer schwächeren Concavlinse von Flintglas, welches letztere ein beinahe doppelt so grosses Farbenzerstreuungsvermögen besitzt wie die erstere Glassorte. Combinirt man zwei gleichstarke aber entgegengesetzt gekrümmte Linsen von derselben Glassorte, so wird die eine die Brechung der anderen vollkommen aufheben. Das stärkere Farbenzerstreuungsvermögen des Flintglases ermöglicht es nun durch Verbindung einer Crownglas-Sammellinse mit einer schwächeren Flintglasconcavlinse die verschiedene Brechung der verschiedenfarbigen Strahlen durch die Crownglaslinse zu compensiren, während die Flintglaslinse nicht stark genug ist, die Gesammtstrahlenbrechung durch die Crownglaslinse aufzuheben (Euler, Dollond).

c) Sphärische Abweichung. Auch bei Beleuchtung mit einfarbigem Lichte zeigen die Bilder der Camera obscura und andere optische Instrumente mit grösseren brechenden Kugelflächen eine gewisse Ungenauigkeit der Umrisse, weil die durch eine kugelige Fläche gebrochenen homocentrischen Strahlen nur bei verschwindend kleinen Einfallswinkeln genau in einem Punkte vereinigt werden. Instrumente, bei welchen durch passende Zusammenstellung der brechenden Flächen diese Abweichung möglichst beseitigt ist, werden als aplanatische bezeichnet. Durch einzelne Kugelflächen ist vollständige Aplanasie nie zu erreichen, eine solche wäre nur durch Rotationsflächen möglich, und zwar meist durch solche des vierten Grades, die man bis jetzt noch nicht schleifen kann. Nur in gewissen Fällen, wenn z. B. der leuchtende Punkt, wie oft bei dem Auge in unendlicher Entfernung liegt, ist die Erzeugungscurve solcher Flächen eine Ellipse. Bei einem Systeme von kugeligen brechenden Flächen ist Aplanasie auch durch passende Combination mehrerer kugelig brechender Flächen in Beziehung auf Krümmungsradius und Abstand der Flächen zu erreichen. Da an einer Kugelfläche die Randstrahlen stärker gebrochen werden, als die der Axe zunächst eintretenden Strahlen, so schneiden sich die gebrochenen Strahlen nicht alle in einem Punkte, sondern in einer krummen Linie: kaustischen Linie.

Centrirte dioptrische Systeme. — Wenn bei einem centrirten dioptrischen Systeme sphärisch gekrümmter Flächen das letzte Medium, in welches schliesslich nach allen Brechungen die Strahlen eintreten, verschieden ist vom ersten, aus welchem sie ursprünglich kommen, dann erscheint die optische Wirkung des Systems auffallend analog der Brechung an einer einzigen sphärischen Trennungsfläche, die zwei heterogene Medien von einander scheidet. Zur einfachen Bestimmung der Lage und der Grösse der optischen Bilder, sowie des Ganges eines jeden durch ein solches System hindurchgegangenen Lichtstrahls, welcher sämmtliche brechende Flächen unter sehr kleinem Einfallswinkel passirt hat, bedarf es der Kenntniss gewisser Punkte, der optischen Kardinalpunkte des Systems.

Man hat 3 Paare solcher Punkte zu unterscheiden:

1) zwei Brennpunkte, senkrecht auf die Axe durch die Brennpunkte gelegte Ebenen heissen Brennebenen.

2) die beiden Hauptpunkte, senkrecht auf die Axe durch die Hauptpunkte gelegte Ebenen heissen Hauptebenen.

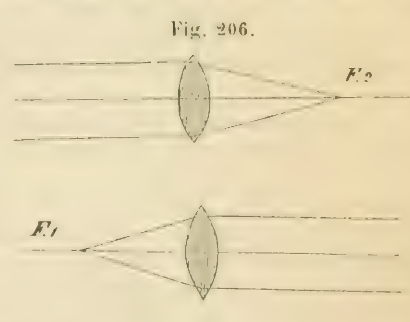
3) die beiden Knotenpunkte.

Man nennt die Seite des Systems, von der das Licht herkommt, die erste, die, nach der es hingeht, die zweite Seite; das Brechungsverhältniss des ersten und letzten Mittels sei verschieden, das erstere n_1, das letzte n_2.

Wir definiren nun nach Helmholtz:

Der erste Brennpunkt F_1 ist dadurch bestimmt, dass (wie bei der Brechung an einer kugeligen Trennungsfläche) jeder Strahl, der durch ihn geht, nach der Brechung parallel mit der Axe wird. Alle von einem Punkt der ersten Brennebene ausgehenden Strahlen werden nach der Brechung unter einander parallel (Fig. 206 F_1).

Fig. 206.



Der zweite Brennpunkt F_2, auch der hintere Brennpunkt genannt, ist dadurch bestimmt, dass durch ihn jeder Strahl geht, der vor der Brechung parallel der Axe ist. Strahlen, welche im ersten Mittel unter einander parallel sind, vereinigen sich in einem Punkte der zweiten Brennebene (Fig. 206 F_2).

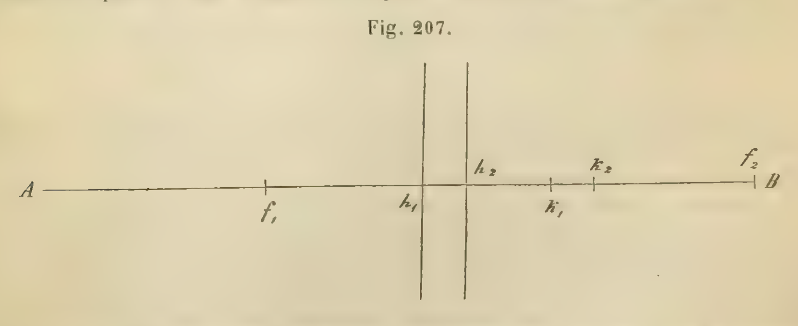
2) Die Hauptpunkte.

Der zweite Hauptpunkt ist das Bild des ersten, d. h. Strahlen, welche im ersten Mittel durch den ersten Hauptpunkt gehen, gehen nach der letzten Brechung durch den zweiten Hauptpunkt. Die zweite Hauptebene ist das optische Bild der ersten, und zwar sind es die einzigen zusammengehörigen Bilder, welche gleich gross und gleich gerichtet sind.

3) Der zweite Knotenpunkt ist das Bild des ersten. Ein Strahl, der im ersten Medium nach dem ersten Knotenpunkt gerichtet ist, geht nach der Brechung durch den zweiten Knotenpunkt, und die Richtungen des Strahls vor und nach der Brechung sind einander parallel. Die Knotenpunkte bilden also eine gewisse Analogie zum Centrum einer einzigen kugelförmigen Trennungsfläche.

Die Entfernung des ersten Hauptpunkts vom ersten Brennpunkt ist die erste Hauptbrennweite, die des zweiten Brennpunktes vom zweiten Hauptpunkt die zweite. Sie wird positiv gerechnet, wenn der erste Hauptpunkt im Sinne der Fortbewegung des Lichtes hinter dem ersten Brennpunkte liegt. Umgekehrt ist positiv bei der zweiten Brennweite.

Fig. 207.



In beistehender Figur 207 sei AB die Axe eines centrirten Systems, von A kommt das Licht her; f_1 ist der erste, f_2 der zweite Brennpunkt, h_1 der erste und h_2 der zweite Hauptpunkt, k_1 der erste, k_2 der zweite Knotenpunkt, so ist $f_1\,h_1$ die erste (posi-

tive Hauptbrennweite. Dagegen $f_2 h_2$ als die Entfernung des zweiten Brennpunkts vom zweiten Hauptpunkt ist die zweite Hauptbrennweite, positiv gerechnet, wenn, wie in der Figur, der Brennpunkt hinter dem Hauptpunkte liegt.

Zur näheren Bestimmung gibt HELMHOLTZ noch folgende Gleichungen, die sich direct aus den gegebenen Definitionen ergeben:

1. Die Entfernung des ersten Knotenpunkts vom ersten Brennpunkt ist gleich der zweiten Hauptbrennweite, umgekehrt die des zweiten Knotenpunkts vom zweiten Brennpunkt gleich der ersten Hauptbrennweite. Also

$$\left.\begin{array}{l} f_1 k_1 = f_2 h_2 \\ f_1 h_1 = f_2 k_2 \end{array}\right\} \quad \ldots \quad \alpha.)$$

2. Daraus folgt, dass der Abstand der gleichnamigen Haupt- und Knotenpunkte von einander gleich dem Unterschiede der beiden Brennweiten ist:

$$k_1 h_1 = k_2 h_2 = f_2 h_2 - f_1 h_1 \} \quad \ldots \quad \beta.)$$

3. und dass ausserdem der Abstand der beiden Knotenpunkte von einander gleich ist dem Abstand der beiden Hauptpunkte von einander:

$$h_1 h_2 = k_1 k_2 \} \quad \ldots \quad \gamma.)$$

Endlich verhalten sich die beiden Hauptbrennweiten zu einander wie die Brechungsverhältnisse des ersten und letzten Mittels.

$$\left.\frac{f_1 h_1}{n_1} = \frac{f_2 h_2}{n_2}\right\} \quad \ldots \quad \delta.)$$

Ist also das letzte Mittel dem ersten gleichartig $n_1 = n_2$, wie es bei den meisten optischen Instrumenten, nicht aber beim Auge der Fall ist, so sind die beiden Hauptbrennweiten gleich, und es fallen die gleichnamigen Haupt- und Knotenpunkte zusammen nach Gleichung β.

Die ersten Brenn- und Hauptpunkte und Knotenpunkte beziehen sich nach den gegebenen Definitionen stets auf den Gang der Strahlen im ersten Medium, die zweiten auf den Gang im letzten Medium.

Zur Lichtbrechung im Auge. — In dem Auge haben wir es nicht mit sphärisch gekrümmten Flächen zu thun, sondern mit Rotationsflächen von Curven, mit Ellipsoiden und Paraboloiden. Die eben mitgetheilten Brechungsgesetze gelten auch für centrirte optische Systeme solcher Rotationsflächen, wenn wir, wie das schon für die bisherigen Betrachtungen Bedingung war, nur diejenigen Strahlen berücksichtigen, welche ganz nahe der Axe einfallen. Man kann in diesem Falle für anderweitige Rotationsflächen sphärisch gekrümmte Flächen substituiren. Man setzt dabei für jede der anderen Rotationsflächen diejenige sphärisch gekrümmte Fläche in die Rechnung ein, welche durch die Rotation desjenigen Kreises entstanden gedacht werden kann, der mit der die betreffende andere Rotationsfläche bildenden Curve in dem Punkte, wo die Augenaxe diese Curve berührt, die Osculation höchster Ordnung hat. Es ist das derjenige durch Rechnung zu findende Kreis, welchen die Curve in dem Schnittpunkt der Augenaxe berührt und sich hier möglichst langsam von ihr entfernt, d. h. länger als alle übrigen Kreise mit der Curve in unmittelbarer Berührung bleibt.

Beispiele.

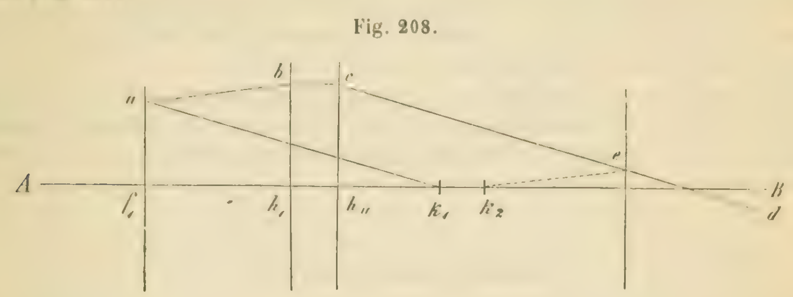
Um den Gang der Lichtstrahlen in einem centrirten System anschaulich zu machen, gibt HELMHOLTZ die unten stehenden Beispiele, zu deren Verständniss wir uns, aus dem oben Gesagten, an Folgendes zu erinnern haben.

Lichtstrahlen, welche von einem Punkte der ersten Brennebene ausgegangen sind, sind nach der Brechung unter einander parallel, und da nach der Definition der Knotenpunkte der vom leuchtenden Punkt nach dem ersten Knotenpunkt gerichtete Strahl nach der Brechung seiner ursprünglichen Richtung parallel sein soll, so müssen alle Strahlen, die von einem leuchtenden Punkt in der ersten Brennebene ausgegangen sind, jenem Strahle nach der Brechung parallel sein. Strahlen, welche im ersten Mittel unter einander parallel sind, vereinigen sich, wie wir wissen, in einem Punkt der zweiten Brennebene, und da derjenige von den parallelen Strahlen, welcher durch den ersten Knotenpunkt geht, nach der Brechung vom zweiten

Knotenpunkte aus seiner früheren Richtung parallel weiter geht, so muss der Vereinigungspunkt der parallelen Strahlen da liegen, wo dieser letztere Strahl die zweite Brennebene schneidet.

Diese Regeln genügen, um in jedem Falle, wenn der Weg eines Strahls im ersten Medium gegeben ist, seinen Weg nach der letzten Brechung zu finden, und wenn ein leuchtender Punkt im ersten Medium gegeben ist, den Ort seines Bildes nach der letzten Brechung zu bestimmen (Fig. 208).

Fig. 208.



Ite Aufgabe. Es sei ab die Richtung eines Strahls im ersten Medium, man soll seinen Weg im letzten Medium finden.

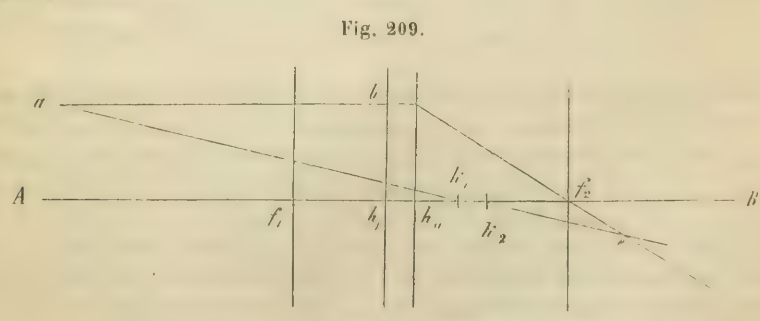
Es sei a der Punkt, wo er die erste Brennebene, b der Punkt, wo er die erste Hauptebene schneidet (wobei im Allgemeinen die beiden Punkte a und b nicht in einer Ebene mit der Axe des Systemes AB liegen werden).

Das Bild des Punktes b liegt in der zweiten Hauptebene, da die eine Hauptebene das Bild der andern ist; und da ferner in diesem Falle (bei den Hauptebenen) das eine Bild dem andern gleich und gleichgerichtet sein soll, so liegt das Bild des Punktes b der ersten Hauptebene in c, dem Fusspunkt des von b auf die zweite Hauptebene gefällten Lothes bc. Jeder Lichtstrahl, der von b ausgeht oder durch b hindurchgeht, muss also nach der Brechung durch c gehen, als dem Bild von b; so auch die Fortsetzung des Strahles ab.

Zweitens geht der Strahl ab durch den Punkt a der ersten Brennebene. Jeder Strahl, welcher von einem Punkte der ersten Brennebene ausgeht, ist nach den oben gegebenen Regeln nach der Brechung parallel dem Strahle, welcher von jenem Punkte a nach dem ersten Knotenpunkte geht. Also muss der Strahl ab nach der Brechung durch c gehen und parallel ak_1 sein. Man ziehe cd parallel ak_1, so ist cd der gebrochene Strahl. Die Fig. 208 deutet noch eine zweite Auflösung an.

IIte Aufgabe. Es sei a ein leuchtender Punkt; es soll sein Bild gefunden werden.

Fig. 209.



Man braucht nur zwei Strahlen von a aus auf die erste Hauptebene zu ziehen, und deren Weg nach der Brechung zu construiren. Wo sie sich schneiden, liegt das Bild von a. Wenn a

ausserhalb der Axe liegt, so ist es am bequemsten, zur Construction den mit der Axe parallelen Strahl *ab* und den nach dem ersten Knotenpunkte gehenden ak_1 zu benutzen. Wenn *c* der Punkt ist, wo der erste Strahl die zweite Hauptebene schneidet (der Punkt *c* ist auf der zweiten Hauptebene nicht bezeichnet), so ziehe man die Linie cf_2 und verlängere sie hinreichend, bis sie die durch k_2 parallel mit ak_1 gelegte Linie in *e* schneidet. Der Ort des Bildes ist *e*. Dass der Strahl *ab* nach der Brechung längs *ce* und ak_1 längs k_2e geht, ergibt sich aus der ersten Aufgabe und den Definitionen. Liegt der Punkt *a* in der Axe, so geht einer seiner Strahlen in der Axe selbst ungebrochen fort. Man braucht dann nur irgend einen andern Strahl zu construiren, der ausserhalb der Axe verläuft. Wo letzterer nach der Brechung die Axe wieder schneidet, ist der Ort des Bildes (Fig. 209).

Die mathematischen Nachweise sind in Helmholtz' Handbuch der physiologischen Optik nachzusehen. Ein etwas ausführlicherer Auszug als der unsere aus Helmholtz' Darstellung des Ganges der Lichtstrahlen in centrirten optischen Systemen findet sich in dem Lehrbuch der Physiologie von C. Ludwig.

Strahlenbrechung im Auge.

In Bau und Strahlenbrechung entspricht das Auge im Allgemeinen einer Camera obscura. Bei dieser entwirft ein optischer Sammelapparat auf einem auffangenden Schirme verkleinerte, umgekehrte Bilder von Gegenständen, deren Strahlen auf die brechenden Flächen auftreffen. Das Gleiche leistet der lichtbrechende Apparat des Auges, die Netzhaut ist der auffangende Schirm, auf welchem reelle Bilder der Objecte, welche ihre Strahlen in das Auge senden, verkleinert und verkehrt entworfen werden.

Um das reelle Netzhautbildchen im Menschen- und Säugethierauge anschaulich zu machen, genügt es, an einem ausgeschnittenen Auge ein Stück der Sclerotica und Aderhaut abzutragen. Man kann nun das Bild eines Gegenstandes, etwa eines Lichtes, an der betreffenden Stelle durch die Augenmedien entwerfen lassen und seine Eigenschaften studiren. Die Augen von Kaninchen, besonders von albinotischen, die sich durch den Mangel an Pigment auszeichnen, lassen, wenn auch etwas weniger scharf, das Netzhautbildchen ohne Weiteres durch die durchscheinende Sclerotica beobachten. Man kann in analoger Weise auch am Auge des lebenden Menschen das Netzhautbildchen zur Anschauung bringen. Lässt man eine blonde Person das Auge möglichst stark nach aussen wenden, und hält ein Licht in einem sonst dunklen Zimmer noch etwas weiter seitlich als die Sehaxe, so schimmert im inneren Augenwinkel das Netzhautbildchen des Lichtes oft so deutlich durch, dass man nicht nur seine umgekehrte Stellung, sondern auch den Docht deutlich wahrnehmen kann. Durch die Entdeckung des Augenspiegels trat die Beobachtung des Netzhautbildchens in ein neues Stadium, cf. unten.

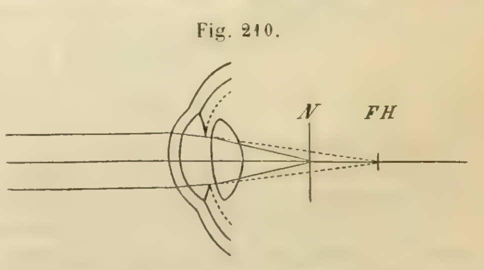
Die Beobachtung ergibt, dass nur diejenigen Objecte, deren Bilder auf den gelben Fleck der Netzhaut zu liegen kommen, scharf gezeichnet erscheinen, nach den Seiten der Netzhaut zu verringert sich die objective Deutlichkeit der Abbildung. Es entspricht diese objective Beobachtung den subjectiven Wahrnehmungen. Am gelben Fleck ist die Sehschärfe am bedeutendsten, sie nimmt nach der Peripherie der Netzhaut zu sehr rasch ab, und zwar noch rascher als die objective Schärfe der Zeichnung des Netzhautbildchens, wodurch eine Abnahme der Netzhautempfindlichkeit gegen die Randtheile zu erwiesen wird. Mit dem Augenspiegel kann man, gestützt auf diese Beobachtungen, direct nachweisen, dass die Netzhautgrube des gelben Fleckes, die sich durch einen

eigenthümlichen Reflex kenntlich macht (Coccius, Donders), der Ort des directen, deutlichsten Sehens ist.

Von allen künstlichen optischen Apparaten zeichnet sich das Auge durch die Grösse seines **Gesichtsfeldes** aus. Das Gesichtsfeld beider Augen, wenn ihre Axen parallel in die Ferne gerichtet sind, umspannt einen horizontalen Bogen von mehr als 180°, der durch die Augenbewegungen noch vergrössert werden kann. Das Gesichtsfeld des einzelnen Auges ist zwar nicht ganz so gross, da ein Theil nach innen, oben und unten durch Theile des Antlitzes, Nase, Augenbrauen und Wangen eingenommen wird. Aber alles Licht, welches durch die Hornhaut in die Pupille fällt, trifft noch auf empfindliche Theile der Netzhaut, und wegen der Brechung in der Hornhaut können selbst senkrecht auf die Augenaxe fallende Strahlen, welche noch den Hornhautrand treffen, in die Pupille gelangen, so dass das Gesichtsfeld auch jedes einzelnen Auges, abgesehen von der angegebenen Beschränkung etwa einer halben Kugel entspricht. Aus dem über das Netzhautbildchen Gesagten ergibt sich, dass gleichzeitig doch immer nur die dem gelben Fleck entsprechende Partie dieses grossen Gesichtsfeldes scharf gesehen werden kann. Das Gesammtbild entspricht einer Zeichnung, in welcher nur das Wichtigste sorgfältig ausgeführt, der übrige Theil aber nur skizzirt ist, und zwar je weiter vom Hauptgegenstand ab, um so weniger sorgfältig. Ein Blick gewährt uns also eine allgemeine Uebersicht über eine weite Umgebung, immerhin scharf genug, dass neue irgendwo im Gesichtsfelde auftretende Erscheinungen sogleich unsere Beachtung erregen. Die Beweglichkeit unserer Augen ermöglicht es dann, nach und nach jeden einzelnen Theil des Gesichtsfeldes genau zu betrachten, indem wir die betreffenden Objecte sich auf dem gelben Fleck abbilden lassen.

An der **Strahlenbrechung im Auge** betheiligt sich am stärksten die Hornhaut, dann folgen die vordere und die hintere Linsenfläche. Auch an den Grenzen der verschiedenen Linsenschichten findet eine Brechung im Innern der Linse statt, da die Linsenschichten ihrer verschiedenen Dichtigkeit wegen auch ein verschiedenes Lichtbrechungsvermögen besitzen (S. 818). Parallele Lichtstrahlen werden von der Hornhaut so gebrochen, dass sie, ungestört weiter gehend, etwa 10 mm hinter der Netzhaut zur Vereinigung kommen würden. Sie treffen aber nach dem Durchtritt durch die Hornhaut schon stark konvergirend auf die Linse, welche die Konvergenz derselben soweit steigert, dass der Vereinigungspunkt der Strahlen auf die Netzhaut trifft (Fig. 210).

Fig. 210.



N Netzhaut, *FH* der hintere Brennpunkt der Hornhaut.

Die Mittelpunkte der einzelnen brechenden Flächen der meisten menschlichen Augen weichen so wenig von der Augenaxe ab, dass wir das Auge unbedenklich als ein centrirtes optisches System betrachten dürfen. Die Augenaxe, die Axe dieses Systems centrirter optischer Flächen verläuft vom Hornhautmittelpunkt zu einem Punkt **zwischen** gelbem Fleck und Sehnerveneintritt. Ziemlich bedeutenden individuellen Schwankungen

unterliegt nach dem directen Ergebniss der Messungen die Lage der **optischen Kardinalpunkte** des Auges, sie erleiden auch noch bei dem Fern- und Nahsehen eine Aenderung. Ueber ihre Lage im normalen, fernsehenden Auge kann man im Allgemeinen Folgendes aussagen (Helmholtz):

Der erste **Hauptpunkt** liegt dem zweiten sehr nah, also ebenso auch der erste **Knotenpunkt** dem zweiten. Die beiden **Hauptpunkte** des Auges liegen etwa in der Mitte der vorderen Augenkammern, die beiden **Knotenpunkte** sehr nahe der hinteren Fläche der Linse, **der zweite Brennpunkt liegt auf der Netzhaut** (Fig. 211).

Das optische Brechungsvermögen der wässerigen Feuchtigkeit des Menschenauges ist nach Helmholtz im Mittel 1,3365, nach Hirschberg, der nach analoger Methode arbeitete, 1,3374. Das des Glaskörpers fand Ersterer zu 1,3382, Letzterer zu 1,3360 und das der Thränenflussigkeit zu 1,33705. Krause fand nach einer anderen Methode für wässerige Feuchtigkeit 1,3420, für Glaskörper 1,3485. Die Werthe gelten für Zimmertemperatur, sie erniedrigen sich für Blutwärme etwa um 0,001. Die Angaben E. Cyon's über denselben Gegenstand stimmen sehr vollkommen mit denen Hirschberg's überein. S. Fleischer findet das Brechungsvermogen des Humor aqueus und des Corpus vitreum nicht wesentlich verschieden 1,3364—1,3363 = $^{130}/_{77}$ (Listing). Den Exponenten des Menschenauges nimmt er im Mittel zu 1,3371 an; da sich bei Blutwärme der Werth vermindert, so glaubt Fleischer für alle Wirbelthieraugen als Constante 1,335 aufstellen zu können. Für die Linie D und Zimmertemperatur (d. h. unter den gleichen Bedingungen wie bei seinen anderen Beobachtungen) fand er den Exponenten für destillirtes Wasser zu 1,3340.

Zum Zweck der Rechnung wählte Listing für die Constanten eines **schematischen, mittleren Auges** möglichst abgerundete, den Messungen sich anschliessende Werthe. Er nimmt an:

Brechungsvermögen	1. Brechungsvermögen der Luft	1
	2. - - wässrigen Feuchtigkeit	$^{103}/_{77}$
	3. - - Linse	$^{16}/_{11}$
	4. - - Glaskörper	$^{103}/_{77}$
Krümmungshalbmesser	5. Krümmungshalbmesser der Hornhaut	8 mm
	6. - - vorderen Linsenfläche	10
	7. - - hinteren Linsenfläche	6
	8. Entfernung der vorderen Hornhautfläche und vorderen Linsenfläche	4
	9. Dicke der Linse	4

Er berechnete aus diesen Annahmen:

1. Der erste Brennpunkt liegt 12,832 mm von der Hornhaut, der zweite Brennpunkt 14,6470 mm hinter der Hinterfläche der Linse.

2. Der erste Hauptpunkt liegt 2,1746 mm, der zweite 2,5724 mm hinter der Vorderfläche der Hornhaut, ihr gegenseitiger Abstand beträgt: 0,3978 mm.

3. Der erste Knotenpunkt liegt 0,7580 mm, der zweite 0,3602 mm von der Hinterfläche der Linse.

4. Die erste Hauptbrennweite des Auges beträgt hiernach 15,0072 mm, die zweite 20,0746 mm.

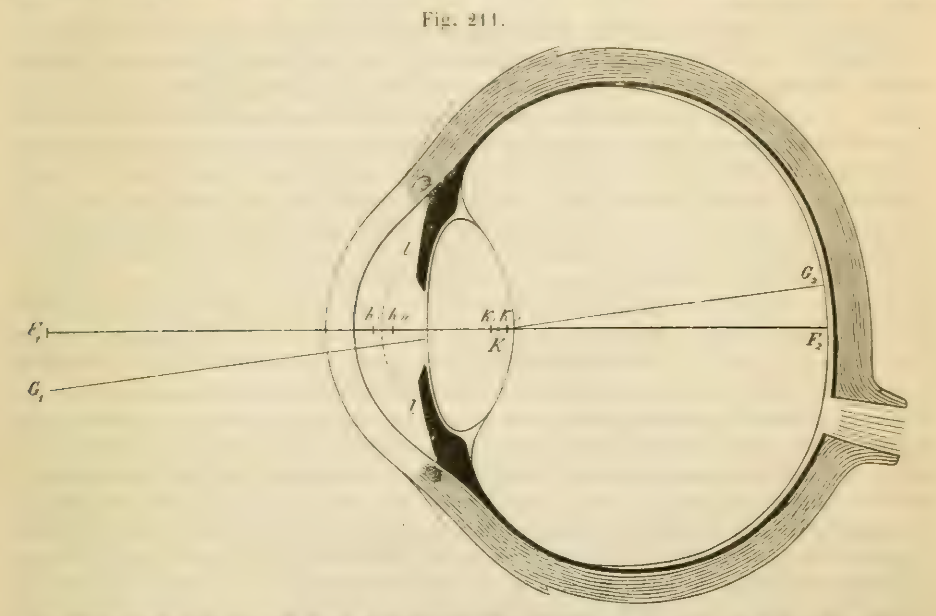
Das verschiedene Brechungsvermögen der durchsichtigen Augenmedien macht den Gang der Lichtstrahlen im Auge zu einem sehr mannigfaltigen. Am stärksten werden die Strahlen zum Einfallsloth gebrochen, indem sie aus dem dünnen Medium der Luft in das relativ dichte der Hornhautsubstanz übergehen. Der Humor aqueus hat ein niedrigeres Brechungsvermögen als die Hornhaut, die Brechung ist daher in ihnen wieder eine andere. Indem die Strahlen von aussen nach innen aus den weniger dichten Linsenschichten in die dichteren Centralschichten eindringen, werden sie dem Einfallsloth zu ge-

brochen, auf der zweiten Hälfte ihres Wegs dagegen aus der analogen Ursache vom Einfallsloth weg, dann findet im Glaskörper wieder eine neue, die letzte Brechung statt. In der Linse ist sonach, wie schon mehrmals angemerkt, der Gang der Lichtstrahlen ein krummliniger.

In der nachstehenden Fig. 211 ist die Lage der Hauptpunkte h, $h_{,,}$, Knotenpunkte k, $k_{,,}$, Brennpunkte F_1 F_2 nach Listing verzeichnet. Das Listing'sche Schema stimmt mit den natürlichen Verhältnissen so gut überein, als es bei der grossen Breite der individuellen Unterschiede möglich erscheint.

Da die Haupt- und Knotenpunkte des schematischen Auges sehr nahe zusammen liegen, so kann man bei der Bestimmung des Ganges der Lichtstrahlen, ohne erhebliche Beeinträchtigung der Genauigkeit, die beiden Haupt- und Knotenpunkte je in einen Punkt zusammenziehen. Listing nennt das dadurch entstehende noch mehr vereinfachte Augenschema: das

Fig. 211.



Horizontaldurchschnitt durch das rechte Menschenauge nach Helmholtz. Die obere Seite ist die Schläfen-, die untere die Nasenseite des Auges. G_1 G_2 Gesichtslinie; F_1 F_2 Axe.

reducirte Auge. Der einfache Hauptpunkt dieses reducirten Auges liegt 2,3448 mm hinter der Vorderfläche der Hornhaut, der Knotenpunkt K 0,4764 mm vor der hinteren Linsenfläche, die Brennpunkte bleiben natürlich unverändert. Die Wirkung des reducirten Auges würde der einer brechenden Kugelfläche (ll, Fig. 211) entsprechen, deren Mittelpunkt der einfache Knotenpunkt K ist, und deren Scheitel im einfach gedachten Hauptpunkt liegt, vor ihr befindet sich Luft, hinter ihr wässrige Feuchtigkeit oder Glaskörpersubstanz. Der Krümmungshalbmesser einer solchen Kugelfläche berechnet sich auf 5,1284 mm. Viele theoretische Betrachtungen, bei denen es nur auf Grösse und Lage der Bilder ankommt, werden durch Anwendung des reducirten Schemas sehr erleichtert.

Wenn man, wie sehr häufig, weiss, dass scharfe Bilder auf der Netzhaut entworfen werden, wenn es also nur darauf ankommt, den Ort des Netzhautbildes zu bestimmen, genügt die Kenntniss der Knotenpunkte. Nimmt man dazu der Einfachheit wegen nur einen Knotenpunkt an, so findet man das Bild, wenn man vom Object eine gerade Linie durch den Knotenpunkt zur Netzhaut zieht; wo diese die Netzhaut trifft, ist der Ort des Bildes. Man nennt jede solche gerade Linie **Richtungslinie des Sehens** und bezeichnet den einfach gedachten Knotenpunkt als **Kreuzungspunkt der Richtungslinien.** Das vor der Hornhaut und

das hinter der Linse liegende Stück einer solchen Linie entspricht zugleich dem wahren Weg des durch die Richtungslinie repräsentirten Lichtstrahles, den HELMHOLTZ **Richtungsstrahl** nennt; nur zwischen der vorderen Hornhautfläche und der hinteren Linsenfläche fällt, wie sich aus dem Obigen ergibt, der Richtungsstrahl nicht nothwendig mit der Richtungslinie zusammen.

Man bezeichnet den Richtungsstrahl, welcher die Mitte der Stelle des directen Sehens trifft, als **Gesichtslinie.** Die Augenaxe, deren Ende nach dem Obigen nicht auf die Netzhautgrube trifft, und die Gesichtslinie sind in ihrer Lage also nicht identisch. Vor dem Auge weicht die Gesichtslinie nach innen und meist etwas nach oben von dem Auge ab, da die Netzhautgrube nach aussen und meist etwas nach unten von der Augenaxe liegt. In der Figur ist $G_1 G_2$ = Gesichtslinie, $F_1 F_2$ = Axe. Die obere Seite der Figur ist die Schläfenseite, die untere die Nasenseite.

Zerstreuungsbilder auf der Netzhaut. — Von einem Punkte ausgehendes Licht bildet, wenn es durch die Pupille hindurchgetreten ist, im Auge einen Lichtkegel, dessen Basis in der Pupille liegt. Die Kegelbasis hat, wie der Augenschein ergibt, die Gestalt der Pupille, ist also beim Menschen normal kreisrund. Der Kreuzungspunkt der Lichtstrahlen bildet die Spitze des Kegels, er ist gegen die Netzhaut zugewendet; fällt er vor die Netzhaut, so divergiren von ihm aus die Strahlen wieder, so dass die Netzhaut selbst von einem kegelförmigen Lichtbüschel getroffen wird. Das Bild des Punktes auf der Retina kann dann kein leuchtender Punkt sein, sondern er ist eine der grösseren Ausdehnung der Beleuchtung entsprechend lichtschwächere, leuchtende Kreisscheibe, mit um so grösserem Durchmesser, je weiter vor der Retina der Kreuzungspunkt der Strahlen sich befindet. Liegt der Kreuzungspunkt der Strahlen hinter der Retina, so wird diese ebenfalls von einem kegelförmigen Lichtbüschel getroffen, dessen Durchschnitt sich als eine um so grössere Kreisscheibe auf der Retina darstellen wird, je weiter der ideale Kreuzungspunkt der Strahlen hinter der Netzhaut liegt. Eine solche von dem Lichte eines leuchtenden Punktes ausserhalb des Auges beleuchtete Kreisscheibe der Netzhaut nennt man Zerstreuungskreis, Zerstreuungsbild. Die Kreisform kann durch eine Veränderung der Pupillarform verändert werden. Feinste Lichtlinien, welche wir als aus einer Reihe von Lichtpunkten zusammengesetzt betrachten können, werden dadurch, dass sich von jedem dieser Punkte ein Zerstreuungskreis bildet, welche Zerstreuungskreise sich theilweise decken, zu einem breiteren, lichtschwächeren, oben und unten abgerundeten Lichtstreifen. Aus demselben Grunde bleibt bei gleichmässig hellen Flächen im Zerstreuungsbilde die Mitte, wo sich die Zerstreuungskreise der Lichtpunkte vollkommen decken, von gleicher Lichtstärke wie das scharfe Bild, nur die Ränder erscheinen verwaschen und lichtschwach.

Accommodation.

Begriff der Accommodation. Nur diejenigen Objecte können deutlich gesehen werden, welche ein scharf gezeichnetes Bild auf der percipirenden Fläche der Netzhaut entwerfen. Die Vereinigung homocentrischer Strahlen durch Brechung an kugelig gekrümmten Flächen, wie z. B. in der Camera obscura oder in dem Auge, findet, wie wir sahen, je nach dem Abstande des leuchtenden Punktes von den brechenden Flächen in verschiedenen Entfernungen hinter denselben statt. Auf dem auffangenden Schirme der Camera obscura erscheinen daher je nach der Entfernung desselben von der Sammellinse nur Objecte deutlich, welche in bestimmter Entfernung von dem Instrumente abstehen, während andere Objecte, in anderer Entfernung stehend, mehr oder weniger undeutlich verwaschene Zerstreuungsbilder darstellen. Die gleiche Erscheinung zeigt sich im Auge. Wir können mit dem Augenspiegel direct beobachten, dass, wenn

entfernte Gegenstände deutliche Netzhautbilder entwerfen, gleichzeitig dem Auge nah gelegene Objecte im Bilde undeutlich oder gar nicht erscheinen e. v. v.

Bei der Camera obscura können wir willkürlich, indem wir die Entfernung des auffangenden Schirmes von der brechenden Linse verändern, bald von nahen, bald von ferneren Objecten uns scharfe Bilder entwerfen lassen. Dasselbe kann dadurch erreicht werden, dass wir, unter Beibehaltung der gegebenen Entfernung der brechenden Fläche von dem auffangenden Schirme, der brechenden Fläche eine passend gewählte stärkere oder schwächere Krümmung geben, resp. in den Apparat stärker oder schwächer brechende Linsen einsetzen, da Linsen von stärkerer Krümmung das optische Bild in geringerer Entfernung hinter sich entwerfen als solche mit schwächerer Krümmung.

Auch das Auge kann willkürlich durch Veränderung seiner optischen Konstanten, bald von näher, bald von ferner gelegenen Objecten scharfe Netzhautbilder entwerfen und dadurch bald diese, bald jene deutlich sehen. Auch hier können wir mit dem Augenspiegel verfolgen, dass, wenn wir z. B. einen nahen Gegenstand fixiren, sein Bild scharf auf der Netzhaut und zwar auf der Fovea centralis des gelben Flecks erscheint, während gleichzeitig entferntere Objecte sich undeutlich abbilden; richten wir dann willkürlich unsere Fixation auf ein entfernteres Object, so verschwimmt das vorhin scharfe Bild des nah gelegenen, während das des entfernteren deutlich und scharf hervortritt. Wir bemerken dabei subjectiv, dass, wenn wir, nach der Betrachtung eines entfernten Gegenstandes, unsere Fixation auf ein dem Auge näher gelegenes Object wenden, diese Veränderung des Fixationspunktes mit dem Gefühl einer gewissen Anstrengung erfolgt, welches steigt mit der Annäherung des fixirten Objectes an das Auge, endlich sind wir, von einem gewissen Punkte an, nicht mehr im Stande, deutlich zu sehen. Das Gefühl der Anstrengung fehlt, wenn wir von nahen Gegenständen ausgehend unsere Betrachtung entfernten zuwenden.

Diese mit einer gewissen Anstrengung vor sich gehende **willkürliche** Veränderung des Auges, um bald nahe, bald entfernte Gegenstände deutlich zu sehen, d. h. scharf auf der Netzhaut abzubilden, bezeichnet man als **Accommodation** des Auges für die Entfernung des Objects.

Die Entfernungen, zwischen welchen die Accommodation möglich ist, unterliegen sehr bedeutenden individuellen Schwankungen. Den dem Auge nächst gelegenen Punkt, für welchen noch scharf accommodirt werden kann, bezeichnet man als Nahpunkt, den entferntesten als Fernpunkt des Auges oder der Accommodation. Bei »normalen« (emmetropischen) Augen (cf. unten) pflegt der Nahpunkt in 4 bis 5 Zoll Entfernung vor dem Auge zu liegen, der Fernpunkt in sehr grosser, unendlicher Entfernung.

Von der Willkür der Accommodation und davon, dass Gegenstände in verschiedener Entfernung vom Auge nicht gleichzeitig deutlich erscheinen, kann man sich leicht durch den Versuch überzeugen. Hält man vor ein normalsichtiges oder durch eine Brille corrigirtes Auge, in etwa 6 Zoll Entfernung, während das andere Auge geschlossen ist, einen durchsichtigen Schleier oder ein Drahtnetz, und hinter diesem in grösserer Entfernung, in welcher aber die Buchstaben noch deutlich erscheinen (etwa 2 Fuss), ein offenes Buch, so kann man, ohne die Richtung des Auges zu verändern, willkürlich bald die Buchstaben des Buchs, bald die

Fäden des Gewebes deutlich sehen. Die Buchstaben sind undeutlich, während man die Fäden des Schleiers deutlich sieht; fixirt man dagegen die Buchstaben, so erscheint der Schleier nur als eine leichte, gleichmässige Verdunkelung des Gesichtsfeldes. Hierbei beobachtet man auch gut das subjective Gefühl der Accommodationsanstrengung.

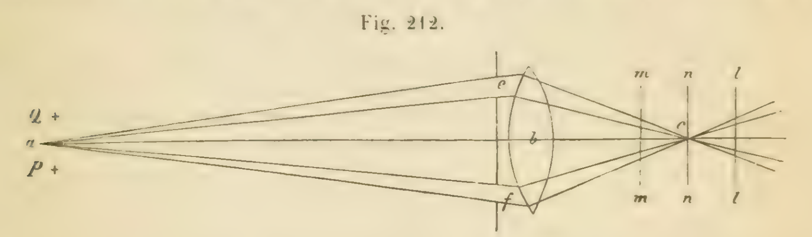
Accommodationslinie. — Die Angabe, dass wir verschieden entfernte Objecte nicht gleichzeitig deutlich sehen können, bedarf einer Einschränkung. Für sehr ferne Objecte kann sich die Entfernung des Objectes sehr beträchtlich ändern, ohne dass die Entfernung des optischen Bildes von den Hauptpunkten des Auges eine merklich verschiedene wird. Ist ein Auge für unendliche Entfernung accommodirt, so sind die Zerstreuungskreise auch für Objecte bis zu etwa 12 m Entfernung vom Auge immer noch so klein, dass sie keine merkliche Undeutlichkeit des Bildes bedingen. Anders ist es, wenn das Auge für einen nahen Gegenstand accommodirt ist, dann erscheinen Gegenstände schon in sehr kleinen Abständen vor oder hinter jenem undeutlich. J. Czermak hat den Abschnitt der Gesichtslinie, in welchem die bei einem gegebenen Accommodationszustande des Auges ohne merkliche Undeutlichkeit erscheinenden Objecte liegen, als Accommodationslinie bezeichnet. Die Accommodationslinie ist um so länger, je grösser der Abstand der gleichzeitig gesehenen Objecte vom Auge ist, sie wird für einen unendlich grossen Abstand unendlich gross. Man kann sich davon schon durch einen Blick in eine ferne Landschaft überzeugen. Helmholtz räth, eine Nadel etwa 1—2 Zoll vor einer bedruckten Papierfläche aufzustellen. Fixirt man die Nadel in der Nähe, so erscheinen die dahinter stehenden Buchstaben undeutlich, sie nehmen bei fortgesetztem Betrachten der Nadel an Deutlichkeit zu, je weiter man das Auge von Nadel und Papier entfernt (cf. unten Optometer).

Visiren. — Die Möglichkeit zu visiren beruht darauf, dass die Zerstreuungskreise ferner Gegenstände sehr klein sind, wenn das Auge für andere ferne Gegenstände accommodirt ist, wir können daher erkennen, ob verschieden entfernte Punkte an einer Stelle des Gesichtsfeldes liegen. Streng genommen erscheint nur immer einer der beim Visiren betrachteten Punkte scharf, die anderen in grösseren oder kleineren Zerstreuungskreisen. Wir nehmen dann eine genaue Deckung zweier Punkte an, wenn der deutlich gesehene in der Mitte des Zerstreuungsbildes des andern liegt. Die Linie, welche wir durch zwei sich deckende Punkte ziehen können, heisst Visirlinie. Die Visirlinien kreuzen sich in einem Punkte des Auges, dem Kreuzungspunkt der Visirlinien, es ist das der Mittelpunkt des von der Hornhaut entworfenen Bildes der Pupille.

Der Scheiner'sche **Versuch** dient zur Erklärung der hier obwaltenden Verhältnisse. Sticht man durch ein Kartenblatt mit einer Nadel zwei Löcher, deren Entfernung von einander geringer ist als der Durchmesser der Pupille, und fixirt nun durch die beiden Löcher eine feine Linie, z. B. eine Nadel, die man vor den hellen Hintergrund des Fensters hält (und zwar vertikal, wenn die Löcher des Kartenblattes horizontal neben einander liegen und umgekehrt), so erscheint die Nadel einfach, fixirt man dagegen einen näheren oder ferneren Gegenstand, so erscheint sie doppelt. Verdeckt man die eine Oeffnung des Kartenblatts, so wird in dem Falle, dass die Nadel einfach ist, nur das Gesichtsfeld etwas dunkler. Sieht man hingegen die Nadel doppelt, so verschwindet bei dem Verschliessen des einen Loches das eine der Doppelbilder, und zwar verschwindet, wenn man ein ferneres Object als die Nadel fixirt, das linke Bild der Nadel beim Verschliessen des rechten Loches, hat man aber das Auge für ein näheres Object accommodirt, so verschwindet das rechte Bild beim Verschliessen des rechten Loches, e. v. v. Der Versuch gelingt am leichtesten, wenn man zwei Nadeln hinter einander vor einem hellen Hintergrund aufstellt, die eine etwa in 6 Zoll, die andere in 2 Fuss Entfernung, die eine horizontal, die andere vertikal. Fixirt man nun die eine, so erscheinen die Doppelbilder der andern. Man muss dabei die Löcher des Kartenblattes quer gegen die Richtung der Nadel stellen, welche doppelt erscheinen soll. Macht man 3 Löcher in ein Kartenblatt, alle drei nahe genug an einander, um gleichzeitig vor die Pupille gebracht werden zu können, so erscheinen entsprechend 3 Bilder der Nadel.

Man kann zur Erklärung dieser Versuche ganz entsprechende Beobachtungen an Glaslinsen anstellen (Fig. 212). Es sei in der Figur *b* eine Sammellinse, vor welcher ein dunkler Schirm mit zwei Oeffnungen, *e* und *f*, angebracht ist; *a* sei ein leuchtender Punkt und *c* der Vereinigungspunkt für seine Strahlen hinter der Linse. Es werden sich also alle Strahlen der beiden Strahlenbündel, welche durch die beiden Oeffnungen des Schirmes *e* und *f* gehen, im Punkte *c* schneiden, und ein auffangender Schirm, welcher in *c* aufgestellt ist, wird nur eine helle Stelle als Bild des Lichtes zeigen; steht der Schirm dagegen vor dem Vereinigungspunkte in *m m*, oder hinter ihm in *l l*, so wird er die den beiden Oeffnungen entsprechenden Strahlenbündel gesondert auffangen und zwei helle Stellen zeigen. Denkt man sich an Stelle der Glaslinse die brechenden Medien des Auges, statt des Schirms die Retina, so ergibt sich analog, dass nur ein Punkt der Retina vom Licht getroffen wird, wenn ihre Fläche durch den Vereinigungspunkt der Strahlen geht, zwei Punkte dagegen, wenn sich die Netzhaut vor oder

Fig. 212.



hinter dem Vereinigungspunkt der Strahlen befindet. Die Stellung des Schirmes in *m m* entspricht dem Falle, wo das Auge für einen ferneren, die in *l l*, wo es für einen näheren Gegenstand accommodirt ist. Es zeigt sich nur ein scheinbarer Widerspruch. Verdeckt man in dem Versuch mit der Glaslinse die obere Oeffnung *e* des durchbrochenen Schirmes, so verschwindet bei der Stellung des Schirmes in *m* das gleichseitige obere Bild, während bei dem fernsehenden Auge das entgegengesetzte Bild verschwindet. Bei der Stellung des Schirmes in *l* verschwindet umgekehrt bei der Glaslinse das entgegengesetzte, in dem nahsehenden Auge dagegen das gleichseitige Bild. Der scheinbare Widerspruch rührt daher, dass, wie wir wissen, die Netzhautbilder stets umgekehrt sind, es entspricht also einem tiefer liegenden lichten Gegenstande im Gesichtsfelde ein höher stehendes Bild auf der Netzhaut. Wird daher die bei *m* stehende Netzhaut an zwei Stellen vom Licht getroffen, so schliesst der Sehende von dem oberen Punkte auf einen im Gesichtsfeld unterhalb des wirklich leuchtenden Punktes bei *P* liegenden Gegenstand, und aus dem unteren Punkte auf einen oberhalb bei *Q* liegenden. Wird die Oeffnung *e* verdeckt, so verschwindet demnach der obere helle Punkt auf der Netzhaut, und der Experimentirende glaubt deshalb den Gegenstand *P* verschwinden zu sehen, welcher der verdeckten Oeffnung entgegengesetzt ist. In analoger Weise löst sich der scheinbare Widerspruch beim Fixiren eines nahen Gegenstandes (HELMHOLTZ).

Wirkung eines engen Diaphragma. — Die Accommodation kann durch künstliche Verengerung der Pupille unterstützt werden. Bringt man einen Schirm mit enger Oeffnung vor das Auge, so kann man nun Gegenstände deutlich sehen, für welche man das Auge nicht accommodiren kann. Die Grundfläche des in das Auge eindringenden Strahlenkegels ist der engen Oeffnung entsprechend kleiner, und im gleichen Verhältnisse alle seine anderen Querschnitte, also auch der Zerstreuungskreis auf der Netzhaut. Ebenso wirkt erklärlich eine wirkliche Verengerung der Pupille selbst.

Mechanismus der Accommodation. Bei der Accommodation treten eine Reihe von Veränderungen im Auge ein, auf denen die Fähigkeit des Auges, sein optisches Brechungsvermögen verschiedenen Entfernungen anzupassen, beruht. Im Wesentlichen gipfeln diese Veränderungen in einer Veränderung der Linsenkrümmung, womit das Gesammtbrechungsvermögen des Auges steigt

und fällt und daher in das Auge einfallende homocentrische Strahlen näher oder ferner hinter der Linse zur Vereinigung kommen. Die Netzhaut, welche dem auffangenden Schirme in der Camera obscura entspricht, braucht dabei nicht, wie in dem oben beschriebenen Versuche mit der Camera, ihren Abstand von den brechenden Flächen zu verändern, da sich der Entfernung der fixirten Objecte die Linsenkrümmung, in den oben angegebenen Grenzen, so weit anzupassen vermag, dass scharf gezeichnete Bilder auf der Netzhaut entworfen werden.

Folgende Veränderungen treten im Auge bei der Accommodation für die Nähe ein (Helmholtz):

1. Die Pupille verengert sich bei der Accommodation für die Nähe, erweitert sich bei der für die Ferne.

Diese Veränderung ist, da sie leicht zu beobachten ist, am längsten bekannt. Man bemerkt sie an jedem Auge, welches man abwechselnd einen nahen und einen in derselben Richtung fern liegenden Gegenstand betrachten lässt, wenn die Pupille nur nicht durch ein zu starkes Licht dauernd verengt wird. Der Erfolg ist S. 839 angegeben.

2. Der Pupillarrand der Iris und die Mitte der vorderen Linsenfläche verschieben sich bei eintretender Accommodation für die Nähe etwas nach vorn.

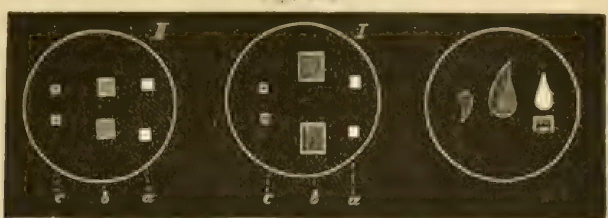
Um dies zu beobachten, wähle man nach Helmholtz einen scharf bestimmten fernen Fixationspunkt und stelle als nähern eine Nadelspitze hin. Der Beobachtete schliesst das eine Auge und bringt das andere in eine solche Stellung, dass die Nadelspitze ihm den fernen Fixationspunkt genau deckt. Das Auge darf diese Stellung nicht verlassen und nicht auf seitlich liegende Gegenstände abschweifen, weil es bei diesem Versuche wesentlich darauf ankommt, dass die Richtung des Auges nicht verändert wird. Der Beobachter stelle sich so, dass er die Hornhaut des beobachteten Auges von der Seite und etwas von hinten sieht, und dass er die schwarze Pupille dieses Auges etwa noch zur Hälfte vor dem Hornhautrande der Sclerotica hervorragen sieht, so lange das beobachtete Auge in die Ferne blickt. Nun lasse er den näheren Gegenstand, die Nadelspitze, fixiren; sogleich wird er bemerken, dass das schwarze Oval der Pupille und auch ein Theil des ihm zugekehrten Irisrandes vor der Sclerotica sichtbar werden. Dass die vordere Linsenfläche stets dicht hinter der Pupille bleibt, also mit ihr vorrückt, ist oben erwiesen.

3. Die vordere Fläche der Krystalllinse wird gewölbter beim Nahesehen, flacher beim Sehen in die Ferne.

Man kann das an der Grössenveränderung der Sanson'schen Bildchen, d. h. der drei Spiegelbildchen eines Lichtes im Auge beobachten, von welchen das erste von der Hornhaut, das zweite von der Vorderfläche der Linse, das dritte von der Hinterfläche der Linse gespiegelt werden. Ein convexer Spiegel gibt, wie wir sahen, unter sonst gleichen Umständen desto kleinere Bilder, je kleiner sein Radius ist; wenn sich eine der spiegelnden Flächen des Auges bei dem Sehen in der Nähe stärker krümmt, so muss ihr Spiegelbildchen kleiner werden. Man kann eine Grössenabnahme an dem verwaschenen und lichtschwachen Spiegelbilde der Vorderfläche der Linse deutlich beobachten, wenn man in einem dunklen Zimmer eine stark leuchtende Lampenflamme in das Auge fallen lässt. Helmholtz räth zu dieser Beobachtung nicht eine, sondern zwei etwa gleichhelle Lichtquellen ihre Bilder im Auge entwerfen zu lassen, am einfachsten so, dass man durch zwei über einander stehende Löcher eines Schirmes je ein Licht scheinen lässt. Jede der drei genannten Augenflächen reflectirt dann zwei helle Bilder, und man sieht leicht und deutlich, wie die der vorderen

Linsenfläche angehörigen sich verkleinern und einander nähern, wenn das Auge in die Nähe, auseinander treten, wenn es in die Ferne sieht (Fig. 213).

Fig. 213.



Reflexe zweier rechtwinkeliger Lichtpunkte (Löcher eines Schirmes). *I*. Beim Fernsehen. *II* Beim Nahesehen. Die Reflexe entsprechen denen von einer Flamme.

Reflexe einer Flamme im Auge. *I*. Reflexe an der Hornhaut, *II* an der vorderen Linsenfläche, aufrecht vergrössert, *III*. an der hinteren Linsenfläche, verkehrt verkleinert.

Diese Verkleinerung rührt nicht etwa nur von dem Nachvornerücken der Linsenfläche her, welche freilich das Bildchen auch etwas verkleinert. Der Rechnung nach kann die Verkleinerung aus dieser Ursache nur äusserst unbedeutend sein im Vergleich mit der wirklich beobachteten.

4. Es ist weiter der Nachweis geführt, dass sich auch das Bildchen der hintern Linsenfläche beim Nahesehen etwas verkleinert, wobei der scheinbare Ort der hinteren Linsenfläche nicht merklich verändert wird. Es nimmt also auch die Krümmung der hinteren Linsenfläche beim Nahesehen zu, aber nur in geringem Grade.

Da die vordere Fläche der Linse vorrückt, die hintere aber dabei ihren Ort nicht verlässt, so ergibt sich, dass die Linse beim Nahesehen in der Mitte dicker wird. Da dabei eine Volumensänderung nicht möglich ist, so müssen wir daraus schliessen, dass sich die Durchmesser ihrer Aequatorialebene verkürzen, dass ihr Umfang kleiner wird, während ihr Dickendurchmesser zunimmt.

Durch die stärkere Wölbung der Linsenflächen bei der Accommodation für die Nähe wird ihre Brennweite verkürzt; ihre Hauptpunkte verschieben sich gleichzeitig nach vorn, theils wegen des Vorrückens der vorderen Fläche der Linse, theils weil die vordere Fläche im Verhältniss zur hinteren sich stärker wölbt. Dadurch werden die durch die Brechung an der Hornhaut schon konvergent auf die Linse fallenden Strahlen äusserer leuchtender Punkte früher zur Vereinigung gebracht, als dies in dem in die Ferne sehenden Auge der Fall ist. Die Grösse der Linsenveränderung reicht aus zur Erklärung der Accommodationsbreite des lebenden Auges.

Bei einem Fall totaler acquirirter Irideremie beobachtete Hjortjort, dass bei der Accommodation für die Nähe die Ciliarfortsätze unter gleichzeitiger Schwellung vorrücken, während er in dem Zonularraum keine Aenderung bemerkte.

Andere Veränderungen an den brechenden Theilen des Auges zum Zwecke der Accommodation sind bisher am Auge nicht mit Sicherheit festgestellt worden. Man hat früher angenommen, dass die Hornhautkrümmung bei der Accommodation sich ändere, die genauesten Messungen mit Hülfe des Ophthalmometers haben diese Meinung widerlegt.

Helmholtz bestimmte die Verschiebung des Pupillarrandes der Iris, d. h. der Vorderfläche der Linse, nach vorn beim Nahesehen in zwei Fällen. Auch die Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche bei Fern- und Nahesehen bestimmte er bei denselben beiden Augen:

	Krümmungshalbmesser der vorderen Linsenfläche		Verschiebung der Pupille bei Accommodation
	fernsehend:	nahesehend:	für die Nähe:
Auge I.	11,9	8,6	0,36
- II.	8,8	5,9	0,44

Die am Auge eintretenden Veränderungen der optischen Konstanten und Kardinalpunkte bei der Accommodation für Ferne und Nähe stellt Helmholtz in folgender Tabelle zusammen, für ein schematisches Auge, das sich von dem Listing'schen schematischen nur dadurch unterscheidet, dass die Linsenfläche etwas nach vorn gerückt und die Linse etwas dünner angenommen ist. Das Brechungsvermögen der gläsernen und wässerigen Feuchtigkeit ist wie bei Listing $^{103}/_{77}$, das der Krystalllinse $^{16}/_{11}$. Als Ort eines Punktes ist seine Entfernung von der vorderen Hornhautfläche angegeben.

	Accommodation für die	
Angenommen:	Ferne:	Nähe:
Krümmungsradius der Hornhaut	8	8
- - vorderen Linsenfläche	10	6,0
- - hinteren Linsenfläche	6,0	5,5
Ort der vorderen Linsenfläche	3,6	3,2
- - hinteren Linsenfläche	7,2	7,2
Berechnet:		
Vordere Brennweite der Hornhaut	23,692	23,692
Hintere - - -	31,692	31,692
Brennweite der Linse	43,707	33,785
Abstand des vorderen Hauptpunkts der Linse von der vorderen Fläche	2,1073	1,9745
Abstand des hintern von der hintern	1,2644	1,8100
Abstand der beiden Hauptpunkte der Linse von einander	0,2283	0,2155
Des Auges hintere Brennweite	19,875	17,756
- - vordere Brennweite	14,858	13,274
Ort des vorderen Brennpunktes	12,918	11,241
- - ersten Hauptpunktes	1,9403	2,0330
- - zweiten Hauptpunktes	2,3563	2,4919
- - ersten Knotenpunktes	6,957	6,515
- - zweiten Knotenpunktes	7,373	6,974
- - hinteren Brennpunktes	22,231	20,248

Nimmt man an, dass der Fernpunkt des schematischen Auges in unendlicher Ferne liegt, so würde die Netzhaut in der Axe des Auges 22,231 mm von der vorderen Hornhautfläche entfernt sein; bei der Accommodation für die Nähe würde ein Gegenstand deutlich gesehen werden, welcher 118,85 mm vor dem vorderen Brennpunkte, oder 130,09 mm vor der Hornhaut liegt, was der Accommodationsbreite eines normalen Auges entspricht.

Die Entdeckung Brücke's hat uns in dem Musculus tensor choroideae oder ciliaris (Brücke'scher Muskel) den Accommodationsmuskel kennen gelehrt, durch die Thätigkeit dieses Muskels treten die wesentlichen Accommodationsveränderungen an der Linse des Auges ein. Cramer und Donders zeigten, dass man durch electrische Reizung des Accommodationsmuskels, die man an ausge-

schnittenen Augen (junger Seehunde) von beiden Seiten der Hornhaut einwirken lässt, die Accommodationsänderung im Auge künstlich hervorrufen kann.

Nach dem oben Gesagten (S. 819) ist die Linse in dem Auge so befestigt, dass sie im ruhenden, fernsehenden Zustand des Auges durch das an ihrem Rand befestigte Ligamentum suspensorium lentis, die Zonula Zinnii, gedehnt wird. Durch die Dehnung in den Aequatorialdurchmessern wird die Axe der Linse verkürzt, ihre Flächen werden entsprechend abgeflacht. Durch Zug an der Zonula kann man an ausgeschnittenen Augen sich von dieser Wirkung der Zonulaspannung leicht überzeugen, und, wie schon erwähnt, wölbt sich die aus ihrer Befestigung gelöste Linse unter der Wirkung ihrer eigenen Elasticität stärker. Die Wirkung der Contraction des Ciliarmuskels besteht der Hauptsache nach in einer Verminderung der Spannung der Zonula und damit der Linse, wodurch unter der Wirkung ihrer eigenen Elasticität sich die Linse stärker krümmt (Helmholtz). Die Spannungsverminderung der Zonula kommt so zu Stande, dass durch die Contraction der meridionalen Fasern des Ciliarmuskels die Zonula nach vorne gegen den Linsenrand zu gezogen wird, gleichzeitig wird durch die Contraction der Circularfasern die hintere dehnbare Wand des Schlemm'schen Canals, an der der Muskel sich befestigt, nach innen gezogen, der Canal dadurch erweitert und die Zonula auch in der Richtung von aussen nach innen abgespannt.

Durch die alleinige Wirkung der eigenen Elasticität der Linse würden sich beide Linsenflächen gleichmässig stärker wölben müssen. Das ist, wie wir sahen, für die hintere Fläche der Linse nicht der Fall. Ihre Krümmung ist beim Nahesehen nur in geringem Maasse vermehrt und ihr Mittelpunkt verändert seinen Ort gar nicht. Das kann durch die Annahme mit der gegebenen Erklärung in Einklang gebracht werden, dass durch eine weitere Ursache die hintere Linsenfläche bei der Accommodation gleichzeitig eine Abflachung erfährt. Cramer und Donders hatten das ganze Phänomen der Accommodation dadurch erklären wollen, dass durch den Zug der damals allein bekannten meridionalen Fasern des M. Ciliaris die Aderhaut (und Iris) gegen den Glaskörper angepresst werden, wodurch ein Druck auf die Linse ausgeübt werde, von welchem Druck nur die Mitte der vorderen Linsenfläche hinter der Pupille befreit bleibe. Durch einen solchen Druck auf die hintere Seite und die Ränder der Linse kann die Vorderfläche der Linse etwas nach vorn gewölbt werden, die Hinterfläche dagegen wird dadurch abgeflacht. Diese Wirkung verbindet sich mit der oben auseinander gesetzten, so dass daraus eine etwas stärkere Wölbung der Vorderfläche und eine relative Abflachung der Hinterfläche der Linse resultirt, wodurch die beobachteten Verhältnisse vollkommen erklärt werden. Hensen und Völkers reizten an Augen von Hunden, Katzen, Affen, sowie an frisch herausgeschnittenen Augen vom Menschen die Ciliarnerven electrisch und beobachteten dabei die für den Beweis der eben auseinandergesetzten Annahme nothwendige Verschiebung der Choroidea nach vorne. Auch Adamcik sah bei dem Katzenauge die von den beiden Autoren angegebenen Choroidealbewegungen, wenn auch nur beschränkt, auftreten.

Der Entdecker der Circularfasern des Brücke'schen Muskels, H. Müller, hat die namentlich früher vielfach von Physiologen und Ophthalmologen angenommene Meinung ausgesprochen, dass die Contraction dieser Fasern einen Druck auf die Ciliarfortsätze ausüben, und dass dieser Druck sich auf den Rand der Linse fortsetzen könne, wodurch diese stärker gewölbt würde. Helmholtz bezweifelt, dass die Ciliarfortsätze im lebenden Auge prall genug mit Blut gefüllt sind, um einen merklichen Druck auf die Linse auszuüben.

Vielfältig hat man angenommen, dass bei der Accommodation auch eine Verrückung der

Netzhaut durch eine Verlängerung resp. Verkürzung des Augapfels eintrete. Die Verlängerung soll z. B. durch den gleichzeitigen Druck aller vier Augenmuskeln auf den Bulbus erfolgen können. Die Untersuchungen von Helmholtz, Donders, Knapp scheinen diese Annahme wenigstens für normale Augen unnöthig und unwahrscheinlich zu machen.

Die Annahme einer wesentlichen Beihülfe der Iris zur Accommodation ist durch die Beobachtung an Augen mit gelähmter oder ganz entfernter Iris (A. v. Graefe), bei denen die Accommodation sich ungeschwächt zeigte, widerlegt, doch scheint der hier und da beobachtete geringe Grad von Accommodation bei Staaroperirten (ohne Linse) auf der veränderlichen Pupillenweite und der dadurch erfolgenden Verkleinerung der Zerstreuungskreise zu beruhen (cf. S. 839).

Verschiedenheiten in der Refraction und Accommodation der Augen.

1. Modification in der Refraction der Augen.

Die Accommodation für den Fernpunkt des Auges, mit anderen Worten, die grösste Sehweite entspricht dem Ruhezustand des Auges. Daher rührt es, dass sich das Auge für seinen Fernpunkt bleibend bei Lähmung des Accommodationsmechanismus einstellt, mag diese Lähmung nun physiologisch durch die Altersveränderung des Auges oder künstlich durch Belladonna oder pathologisch durch Paralyse des Nervus oculomotorius erfolgen.

Als normale Lage des Fernpunktes betrachtet man die unendliche Entfernung. Augen, bei denen das der Fall ist, vereinigen also bei der Ruhelage der Accommodation parallele Strahlen auf der Netzhaut, die Netzhaut befindet sich in der Brennebene des Auges. Donders bezeichnet solche Augen als emmetropische Augen (von ἔμμετρος = modum tenens), um der Vieldeutigkeit der Bezeichnung normale oder normalsichtige Augen zu entgehen. Emmetropische Augen können an den mannigfaltigsten Fehlern leiden, sie brauchen durchaus nicht immer normal zu sein. Ausser den parallelen Strahlen können emmetropische Augen vermöge der Accommodation auch mehr oder weniger divergente Strahlen auf der Netzhaut vereinigen.

Augen, welche in der Ruhelage der Accommodation für divergente Strahlen eingestellt sind, deren Fernpunkt also zwar vor ihnen, aber nicht in unendlicher Entfernung liegt, bezeichnet man als brachymetropische oder mit dem alten Namen als myopische, kurzsichtige Augen, sie können auch mit Hülfe der Accommodation nur divergente Strahlen auf der Netzhaut zur Vereinigung bringen.

Augen, welche in der Ruhe für konvergente Strahlen accommodirt sind, heissen hypermetropische, überweitsichtige Augen. Sie können mit Hülfe der Accommodation ausser den konvergenten, auch parallele und selbst divergirende Strahlen auf der Netzhaut vereinigen.

Die brachymetropischen Augen können ohne Accommodation und ohne Brille nahe Gegenstände scharf sehen, die hypermetropischen Augen müssen dagegen, vorausgesetzt dass sie sich keiner Brille bedienen, jedesmal, wenn sie ein reelles Object betrachten wollen, eine Accommodationsanstrengung machen. Dadurch werden meist sehr störende Ermüdungserscheinungen des Auges herbeigeführt.

die man vor der Entdeckung der relativen Häufigkeit der zu Grunde liegenden Refractionsanomalie durch DONDERS als Asthenopie bezeichnete, ein Leiden, dem der Arzt früher hülflos gegenüber stand, und welches er jetzt so leicht wie Kurzsichtigkeit durch ein passendes convexes Brillenglas zu heben gelernt hat.

Man glaubte annehmen zu dürfen, dass der Grund der Accommodationseigenthümlichkeiten der Augen in verschiedener Krümmung der lichtbrechenden Flächen des Auges beruhe. DONDERS konstatirte (cf. oben Hornhaut), dass diesen Zuständen keine konstanten Krümmungsverhältnisse der Hornhaut oder Linse entsprechen. Der Grund der Abweichung liegt vielmehr in der verschiedenen Länge der Augenaxe, welche bei der brachymetropischen länger, bei der hypermetropischen dagegen kürzer ist, als bei den emmetropischen Augen. Bei dem letzteren beträgt die Länge der Augenaxe nach den directen Messungen von O. BECKER 23,86 mm, von HIRSCHBERG 23,75, also von der Vorderfläche der Hornhaut bis zur lichtempfindenden Schicht etwa 23 mm. HIRSCHBERG mass die Länge der Axe bei einem im Leben als hypermetropisch bestimmten Auge nach der Enucleation = 23 mm, also wesentlich kürzer als bei dem emmetropischen Auge. Die grössere Länge myopischer Augen ist mehrfach gemessen worden. Durch diese Verschiedenheit in der Länge der Augenaxe kommt bei den kurzsichtigen Augen die Netzhaut bei der Ruhelage der Accommodation hinter die Brennebene der brechenden Augenmedien zu liegen, die Strahlen, welche von fernen leuchtenden Punkten ausgehen, schneiden sich also schon vor der Netzhaut, diese wird daher nur von einem Zerstreuungskreis, gebildet von den nach der Vereinigung wieder divergirenden Strahlen, getroffen. Ein solches Auge kann nur nähere Gegenstände, deren Bild hinter der Brennebene entworfen wird, ohne Brille genau wahrnehmen. Umgekehrt ist es bei den hypermetropischen Augen, bei denen die Netzhaut bei mangelnder Accommodation vor der Brennebene des Auges zu stehen kommt. Bei einem solchen Auge schneiden sich ohne Accommodation schon die von unendlich entfernten leuchtenden Objecten ausgehenden, parallelen Strahlen hinter der Netzhaut und entwerfen auf ihr, also noch konvergirend, ein Zerstreuungsbild; noch in höherem Maasse gilt das Gesagte für divergente, von näher am Auge gelegenen Objecten ausgehende Strahlen. Ohne Accommodation können auf der Netzhaut hier nur konvergente Strahlen zur Vereinigung kommen, da nur von solchen der Vereinigungspunkt vor der Brennebene liegt. Von keinem endlich oder unendlich weit entfernten Objecte können solche Strahlen ausgehen, die betreffenden Augen sind daher in der Ruhe, wie man sich auszudrücken pflegt, für Strahlen von jenseits unendlich eingerichtet. Durch Sammellinsen können aber bekanntlich sowohl parallele als divergente Strahlen in beliebigem Grade konvergent gemacht werden (cf. Brillen für Hypermetropie).

Bei hochgradig kurzsichtigen Augen buchtet sich in der Folge der hinterste Theil der Sclerotica nach hinten aus: Staphyloma posticum, wodurch auch die Netzhaut weiter nach hinten gerückt, die Augenaxe noch weiter verlängert wird. Es ist beachtenswerth, dass die Ausbildung dieses Zustandes durch Accommodationsanstrengungen begünstigt wird.

Nach W. STAMMESHAUS sind die emmetropischen Augen nur für eine gewisse mittlere, die Makula umgebende Zone wirklich emmetropisch, unter einem Winkel von etwa 50° zur Ge-

sichtslinie werden sie ziemlich plötzlich hypermetropisch. Aehnliche Verhältnisse zeigen auch myopische Augen, deren Myopie im peripherischen Theil der Netzhaut zunimmt; bei Hypermetropen findet sich dagegen nur eine geringfügige Steigerung der Hypermetropie.

2. Modificationen in der Accommodation der Augen.

Auf den ersten Blick scheint ein emmetropisches Auge, dessen Fernpunkt in unendlicher Entfernung, und dessen Nahepunkt etwa in 6 Zoll Entfernung von dem Auge liegt, eine viel weitere Grenze der Accommodation zu besitzen als ein brachymetropisches Auge, das seinen Fernpunkt etwa 6 Zoll, den Nahpunkt dagegen nur 3 Zoll vom Auge besitzt. Konsequenter Weise müsste man dann wohl hypermetropische Augen, deren Fernpunkt noch, wie man zu sagen pflegt, jenseits, z. B. 12 Zoll jenseits unendlich liegt, d. h. ein Auge, welches so stark konvergirende Strahlen, dass sie sich ohne Dazwischenkunft brechender Medien schon 12 Zoll hinter dem Auge schneiden würden, in der Accommodationsruhe noch auf der Netzhaut vereinigt, während der Nahepunkt nicht nur bis in unendliche, sondern sogar bis in endliche Entfernung etwa 12 Zoll an das Auge heranrücken kann, als die stärksten in Beziehung auf die Accommodation bezeichnen.

Gegen diesen Anschein beweist die nähere Betrachtung, dass das Accommodationsvermögen der beispielsweise gewählten drei Augen, von denen das eine von Unendlich bis auf 6 Zoll vom Auge, das andere von 6 Zoll bis auf 3 Zoll, das dritte von 12 Zoll jenseits unendlich bis auf 12 Zoll diesseits unendlich vom Auge zu accommodiren vermag, gleich ist.

Wenn wir vor das beispielsweise gewählte myopische Auge eine Concavlinse Brille von 6 Zoll Brennweite setzen, welche ihm unendlich entfernte Gegenstände deutlich zu sehen erlaubt, da sie die parallelen Strahlen so bricht, als kämen sie von 6" Entfernung, so zeigt es sich, dass dasselbe Auge mit Hülfe der Brille nun auch, wie das emmetropische Auge von unendlich bis 6 Zoll accommodiren kann. Die genannte Linse von 6" negativer Brennweite entwirft nämlich von Objecten, die 6" hinter ihr liegen, ein virtuelles Bild in 3 Zoll Entfernung, für welche sich also das supponirte myopische Auge accommodiren kann.

Wir dürfen also die Accommodationsbreite zweier verschiedener Augen nicht unmittelbar nach dem Abstand ihres Fernpunkts vom Nahepunkt mit einander vergleichen, die Vergleichung ist nur möglich, wenn die Augen durch passend gewählte Linsengläser (Brillen) erst auf gleichen Refractionszustand gebracht sind.

Bezeichnen wir die Entfernung des Fernpunktes eines gegebenen Auges vom ersten Knotenpunkt mit F, die des Nahepunktes mit N und mit A die Entfernung des nächsten Punktes, für den das mit einer Linse von der negativen Brennweite F versehene Auge sich noch accommodiren kann, so ist

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{N} - \frac{1}{F}$$

Die Grösse $\frac{1}{A}$ wird nach Donders als das Maass der Accommodationsbreite benutzt.

Die Einheit dieses Accommodationsmaasses ist also Eins dividirt durch ein Längenmaass, wozu man bisher, den Brillennummern entsprechend, entweder Pariser oder Preussische Zoll wählte.

So haben also gleiche Accommodationsbreite von ein Sechstel $\left(\frac{1}{6}\right)$ 1) ein emmetropisches Auge, dessen Sehweite von 6 Zoll bis Unendlich geht $\frac{1}{6} - \frac{1}{\infty} = \frac{1}{6}$; 2) ein myopisches, dessen Sehweite von 3—6 Zoll geht $\frac{1}{3} - \frac{1}{6} = \frac{1}{6}$; 3) ein hypermetropisches, dessen Sehweite von + 12 bis — 12 geht $\frac{1}{12} - \left(-\frac{1}{12}\right) = \frac{1}{6}$. Die Brennweite der Convexgläser wird negativ genommen.

Presbyopie. Die Grösse der Accommodation $\left(\frac{1}{A}\right)$ nimmt mit zunehmendem Alter kontinuirlich ab. Bei ganz oder nahezu emmetropischen Augen erfolgt dies annähernd proportional den Jahren. Im 10. Lebensjahre liegt der Nahepunkt nach Donders normal in $2^2/_3$ Zoll, im 23. in 4, im 40. in 8 und von Anfang der Fünfziger in 12 Zoll, d. h. in einer Entfernung, in welcher die Netzhautbilder sehr kleiner Objecte schon so klein werden, dass sie nur schwer erkennbar sind. Im 60. Jahr ist der Nahepunkt auf 24 Zoll hinausgerückt, im 75. hat er die unendliche Entfernung erreicht, und kann noch über dieselbe hinausgehen. Die Accommodation ist dann meist gleich Null. Vollkommener oder wenigstens fast vollkommener Verlust der Accommodationsfähigkeit tritt im höheren Lebensalter regelmässig ein, für diesen Zustand reservirt Donders die ältere Bezeichnung Presbyopie. Im höheren Alter, etwa vom 50. Jahre an, rückt auch der Fernpunkt des Auges etwas hinaus; so kommt es, dass im Alter früher emmetropische Augen zu hypermetropischen, schwach myopische dagegen zu emmetropischen werden können.

Es scheint, dass diese allmälige Verminderung der Accommodationsbreite mit zunehmendem Alter davon abhängt, dass im Alter die Festigkeit der äusseren Schichten der Krystalllinse zunimmt, wodurch die Linse weniger nachgiebig wird, während gleichzeitig die Contractilität des Accommodationsmuskels, wie die aller Muskeln, abnimmt.

Bei dem Sehen in die Nähe tritt gleichzeitig Konvergenz der Augenaxen ein. Man hält unwillkürlich eine bestimmte Verbindung zwischen Konvergenz- und Accommodationsanstrengung ein und accommodirt daher für die Ferne leichter bei parallelen, für die Nähe besser bei stark konvergenten Augenaxen.

Donders bezeichnet als: 1) absolute Accommodationsbreite die, welche für die Ferne bei parallelen, für die Nähe bei konvergenten Gesichtslinien gemessen wurde. Zu bemerken ist dabei, dass dann der Nahpunkt der Accommodation ferner liegt als der Konvergenzpunkt der Gesichtslinien. Diese absolute Accommodationsbreite bestimmte Donders bei einem 15 jährigen emmetropischen Auge nach der obigen Berechnungsweise zu $\frac{1}{3,69}$. 2) Steigert man die Konvergenz beider Augen nicht weiter als zur Fixirung des Punktes, für den man accommodirt, nöthig ist, so erscheint die Accommodationsbreite etwas geringer: binokulare Accommodationsbreite. Für das obige Auge betrug sie $\frac{1}{3,9}$. 3) Die relative Accommodationsbreite für einen gegebenen Grad der Konvergenz war bei demselben Auge bei parallelen Gesichtslinien nur gleich $\frac{1}{11}$, sie erreichte bei einer Konvergenz von 11° ihr Maximum von $\frac{1}{5,76}$, hielt sich dann bei steigender Konvergenz ziemlich unverändert, so dass sie bei 23° noch $\frac{1}{6,4}$ betrug, bei der Stellung des binokularen Nahpunkts, bei 38° Konvergenz, war sie $\frac{1}{9}$, in der Stellung des absoluten Nahpunkts, bei 73° Konvergenz wurde sie zu 0. Für feinere ärztliche Bestimmungen sind also bestimmte

Grade der Konvergenz für die Vergleichung der Accommodation zu wählen. Für die Bestimmung des Fernpunktes wählt man am besten die parallele Richtung der Gesichtslinien (Blicken auf ein entferntes Object).

Auswahl der Brillen. Bezeichnung der Myopie und Hypermetropie.

Die Brennweite der **schwächsten concaven Linse**, welche einem **myopischen** Auge noch vollkommen genaues Sehen sehr entfernter Objecte gestattet, ist unmittelbar = der Entfernung des Fernpunktes vom Auge = der Nummer der zu wählenden Brille = der Nummer der Myopie. Myopie = $\frac{1}{6}$ heisst: der Fernpunkt des Auges steht 6 Zoll vom Auge ab, und eine Concavlinse von 6 Zoll Brennweite corrigirt die Myopie, so dass dann der Fernpunkt in unendlicher Entfernung liegt.

Die Brennweite der **stärksten Convexlinse**, welche einem **hypermetropischen** Auge noch vollkommen deutliches Sehen sehr entfernter Gegenstände erlaubt, bezeichnet ebenso dessen Fernpunkt. Die Bezeichnung der Hypermetropie ist wie die der Myopie jedoch negativ. Hypermetropie = $-\frac{1}{12}$ heisst, eine Convexbrille von 12 Zoll Brennweite corrigirt die Hypermetropie vollkommen.

Aerztliche Bemerkungen. Helmholtz. — Im Allgemeinen sollten Augen, deren Sehweite der gewählten Beschäftigung nicht genügt, rechtzeitig Brillen anwenden. **Presbyopische Augen** bedürfen einer Convexlinse beim Lesen und Schreiben, überhaupt bei der Beschäftigung mit nahen Objecten, zur möglichsten Beseitigung der Zerstreuungskreise. Des Abends und bei schwächerer Beleuchtung ist die Pupille weit, die Zerstreuungskreise sind daher grösser, es ist dann eine stärkere Brille nöthig als am Tage bei hellerer Beleuchtung. In den meisten Fällen, bei jüngeren Individuen, genügt eine Brille, welche den Nahepunkt bis auf 10—12 Zoll heranbringt. Bei sehr alten Leuten, zwischen 70—80 Jahren, vermindert sich jedoch die Sehschärfe so bedeutend, dass für ein deutliches Sehen die Objecte näher an das Auge herangebracht werden müssen, etwa bis auf 8 oder 7 Zoll, damit sie unter einem grösseren Gesichtswinkel, also grösser gesehen werden.

Bei **Myopie** ist bei der Beschäftigung mit nahen Gegenständen gebückte Haltung des Kopfes und starke Konvergenz der Augen möglichst zu vermeiden, um einer fortschreitenden Verdünnung, Ausbauchung und Zerrung der Membranen im hinteren Theil des Auges durch gesteigerten Blut- und Muskeldruck (Staphyloma posticum) vorzubeugen, wodurch das Sehvermögen in hohem Grade beeinträchtigt und gefährdet wird. Liegt der Fernpunkt noch über 5 Zoll vom Auge, so dürfen (Helmholtz) im allgemeinen Concavgläser fortdauernd getragen werden, welche den Fernpunkt, wie bei dem emmetropischen Auge, in unendliche Ferne rücken. Dann dürfen aber für eine dauernde Beschäftigung und normale Sehschärfe die Bücher, Schreibereien, Handarbeiten nicht näher als 12 Zoll an die Augen gebracht werden. Verlangen die Berufsgeschäfte unerlässlich feine Arbeiten, wobei die Objecte dem Auge näher gebracht werden müssen, so sollten während solcher Beschäftigungen schwächere Convexgläser getragen werden. Helmholtz räth auch achromatische, prismatische Gläser an, die auf der Nasenseite dicker als auf der Schläfenseite sind, weil mit solchen die sehr genäherten Objecte mit geringerer Konvergenz und geringerer Accommodationsanstrengung gesehen werden können. Es kommt bei Kurzsichtigen, die zum ersten Male Brillen tragen, nicht selten vor, dass Gläser, welche ihre Brachymetropie (Myopie) vollkommen corrigiren, erst nach einiger Gewöhnung an schwächere Gläser, an deren Stelle man nach und nach schärfere verwendet, vertragen werden, es rührt das daher, dass sich die Verbindung zwischen Accommodation und Konvergenz den veränderten Umständen erst allmälig anpasst. Sind Accommodationsvermögen oder Gesichtsschärfe merklich geschwächt, so sind für die Betrachtung naher Objecte schwächere Gläser zu verwenden, welche für die gewöhnlichen Geschäfte ausreichen, für fernere Objecte kommt dann passend eine Lorgnette zu Hülfe.

Für **hypermetropische Augen** wähle man Anfangs, ehe sie ihre fortdauernde Accommodationsanstrengung vollkommen zu beseitigen verstehen, etwas zu starke Convexgläser, durch welche sie schon ferne Objecte nicht mehr ganz deutlich wahrnehmen können. Mit der fortschreitenden Entwöhnung von den Accommodationsanstrengungen werden schwächere Gläser nöthig.

Bei verminderter Accommodationsbreite (Presbyopie) bedarf man unter allen Umständen stärkerer Gläser für die Nähe, schwächerer für die Ferne.

Optometer. — Die Accommodationsbreite wird mit Hülfe von **Optometern** bestimmt:

1) Die Leseproben. Am einfachsten erscheint es, zu beobachten, in welchen Entfernungen kleine Gegenstände, z. B. Buchstaben, noch deutlich gesehen werden können. Die Genauigkeit der Angaben nach dieser Methode wird dadurch gestört, dass auch sehr kleine Buchstaben immer noch bei schon ziemlich bedeutenden Zerstreuungskreisen erkannt werden können. Aus Letzterem erklärt es sich, dass Kurzsichtige sehr kleine Gegenstände noch näher als den Nahepunkt an das Auge heranbringen, da trotz der Zerstreuungskreise Objecte, welche wegen Kleinheit schwer erkennbar sind, bei grösserer Annäherung an das Auge, unter grösserem Sehwinkel, grösser und sonach erkennbarer erscheinen. Soll also die Accommodationsbreite auf diesem Wege ermittelt werden, so muss man für verschiedene Abstände verschiedene Gesichtsobjecte wählen, und zwar alle so fein, dass sie von einem gut accommodirten Auge noch eben erkannt werden. 2) PORTERFIELD hat auf den SCHEINER'schen Versuch ein Optometer gegründet; TH. YOUNG (1801) empfiehlt einen feinen weissen Faden auf schwarzem Grunde auszuspannen, so dass sein eines Ende nahe unter dem Auge sich befindet, und dann durch einen passenden Schirm mit zwei Löchern nach dem Faden zu blicken. Dieser erscheint dann nur in der Strecke, für die das Auge accommodirt ist (Accommodationslinie), einfach, an allen übrigen Stellen doppelt. Die einfach erscheinende Strecke kann leicht bezeichnet werden. Ihre Entfernung vom Auge, wenn dasselbe für die Ferne accommodirt ist, entspricht der Sehweite des Auges. Man verwendet jetzt meist andere feine, durch die Löcher des Schirmes eben noch deutlich erscheinende Gegenstände, welche man in verschiedene Abstände vom Auge bringt, z. B. feine Nadeln auf dem hellen Grund des Himmels. HELMHOLTZ' Optometer wird bei Besprechung der chromatischen Abweichung des Auges seine Darstellung finden.

Monochromatische und chromatische Abweichung des Auges.

1. Monochromatische Abweichung, Astigmatismus.

Die gewöhnliche monochromatische Abweichung der optischen Instrumente, die sphärische Aberration, ist im Auge auf ein sehr geringes Maass reducirt. Die Gründe dafür liegen darin, dass die Abblendung der Randstrahlen für Hornhaut und Linse in bedeutendem, mit der Lichtintensität wechselndem Umfang durch die Iris stattfindet, dass die brechenden Flächen am Auge nicht kugelig, sondern, wie es die Theorie aplanatischer brechender Flächen erfordert, ellipsoidisch resp. paraboloidisch gekrümmt sind, wobei die Krümmung gegen die Ränder zu bedeutend abnimmt; in demselben Sinne wirkt es, dass die Randstrahlen der Linse die äusseren, weniger stark brechenden Linsenschichten durchwandern. Daher kommt es, dass die im Auge immer nur sehr geringe eigentliche sphärische Aberration sich hier hinter anderen monochromatischen Abweichungen verbirgt, welche man im Allgemeinen als Astigmatismus zusammenfasst, ein Name, der den Mangel eines genauen Brennpunktes (= Stigma) bezeichnen soll. Die Benennung Astigmatismus ist von WHEWELL vorgeschlagen und seitdem allgemein angenommen. DONDERS und KNAPP haben

den Zustand ausführlicher studirt. Whewell unterscheidet regulären und irregulären Astigmatismus.

Der reguläre Astigmatismus rührt davon her, dass die **Krümmung der brechenden Flächen des Auges, namentlich der Hornhaut, in verschiedenen Meridianen verschieden ist.**

Der irreguläre Astigmatismus äussert sich in der Erscheinung der Polyopia monophthalmica. Er beruht darauf, dass durch sonstige Unregelmässigkeiten der brechenden Flächen und zwar besonders der Linse auch die in jeder einzelnen Meridianebene des Auges einfallenden Strahlen nicht genau in einen Brennpunkt vereinigt werden. Augen ohne Linse zeigen den unregelmässigen Astigmatismus meist nicht oder nur in geringem Grade, dagegen den regulären Astigmatismus aus Krümmungsverschiedenheiten der Hornhaut viel regelmässiger und deutlicher als normale Augen. Die einzelnen Sektoren der Linse vereinigen zwar die auffallenden Strahlen (abgesehen von den Andeutungen einer wahren sphärischen Abberration) nahezu in einen Punkt, die Brennpunkte der verschiedenen Sektoren fallen aber nicht zusammen (Donders). Am irregulären Astigmatismus kann sich auch die Hornhaut zeitweise betheiligen, wenn kegelförmige Erhebungen, Geschwüre etc. oder zufällige Unreinigkeiten, Thränenflüssigkeit, Fetttröpfchen aus den Meibom'schen Drüsen eine unregelmässige Brechung an ihr veranlassen. Es gibt also eine physiologische und eine pathologische Polyopia monophthalmica.

Folgende Erscheinungen des unregelmässigen Astigmatismus der physiologischen Polyopia monophthalmica gehen nach Helmholtz von der Linse aus.

1) Die kleinen Zerstreuungskreise heller, kleiner, leuchtender Punkte, z. B. der Sterne oder ferner Laternen, erscheinen auf der Netzhaut nicht als helle, kreisförmige Flächen, sondern als Sternfiguren mit 4—8 unregelmässigen Strahlen, welche in beiden Augen und bei verschiedenen Individuen verschieden zu sein pflegen.

Die Zerstreuungsfigur eines leuchtenden Punktes, z. B. einer punktförmigen, beleuchteten Oeffnung in einem dunklen Schirme, scheint jenseits des Fernpunktes des Auges bei den meisten in der Richtung von oben nach unten länger als in der von rechts nach links. Bei schwacher Beleuchtung kommen nur die hellsten Stellen der Strahlenfigur zur Wahrnehmung, und man sieht daher mehrere Bilder des hellen Punktes, von denen gewöhnlich eines heller ist als die anderen. Bei sehr starker Beleuchtung, z. B. durch directes Sonnenlicht, fliessen die Strahlen des Sternes in einander, und rings umher entsteht ein aus unzähligen, äusserst feinen, buntgefärbten Linien bestehender Strahlenkranz von viel grösserer Ausdehnung: Haarstrahlenkranz. Ist das Auge für grossere Entfernungen als das des leuchtenden Punktes accommodirt, so liegt die grösste Ausdehnung der Strahlenfigur meist horizontal. Kann man für die punktförmige Oeffnung des Schirmes genau accommodiren, so erscheint sie bei mässigem Lichte rundlich und hell, bei stärkerem Licht wird sie aber immer strahlig.

2) Bei ungenügender Accommodation erscheinen feine Lichtlinien, z. B. die Sichel des Neumondes, mehrfach. Es fliessen die helleren Stellen der Zerstreuungsbilder der einzelnen die Lichtlinie zusammensetzenden Lichtpunkte zu einzelnen Lichtlinien zusammen, welche als mehrfache, lichtschwächere Bilder der hellen Linie erscheinen. Den meisten Augen zeigen sich zwei, manchen in gewissen Fällen 5, 6 und mehr solcher Doppelbilder.

3) An den Grenzen heller Flächen, für welche das Auge nicht vollkommen accommodirt ist, erscheinen die Doppelbilder in der Weise, dass am Rande der hellen Fläche der Uebergang von Hell in's Dunkel in zwei oder drei Absätzen geschieht. Eine schwarze Fläche auf hellem Grund scheint jenseits des Fernpunktes mit einem Rande umsäumt, der zunächst

aus einem hellen, dann aus einem schwarzen Streifen besteht, der nach den Rändern zu verwaschen ist.

Hierher gehören auch die Versuche, welche ergeben, dass die brechenden Flächen des Auges nur mangelhaft oder wenigstens nicht um die Gesichtslinie centrirt sind (cf. oben).

Der reguläre Astigmatismus zeigt sich bei fast allen menschlichen Augen in geringerem oder stärkerem Grade. Er war schon THOMAS YOUNG bekannt, und der Astronom AIRY corrigirte seinen Astigmatismus mit einer Cylinderlinse (cf. unten). Man kann die Grösse des Astigmatismus nach analogem Principe, wie die Sehweite durch passende Optometer mit feinen abwechselnd senkrecht und horizontal zu stellenden Fäden bestimmen. Augen mit regulärem Astigmatismus haben entsprechend der verschiedenen Krümmung der Hornhautsektoren in verschiedenen Meridianen verschiedene Sehweiten für Linien von verschiedener Richtung im Gesichtsfelde. Ein Auge mit regulärem Astigmatismus kann im Allgemeinen nicht gleichzeitig für horizontale und vertikale Linien, welche sich in gleicher Entfernung von ihm befinden, accommodirt sein. In der Mehrzahl der Fälle muss das Auge eine grössere Sehweite annehmen, um die seinem horizontalen Durchmesser parallelen Linien deutlich zu sehen, für die senkrechten dagegen mehr für die Nähe accommodiren. Eine vertikale Linie muss man meist weiter vom Auge entfernen, als eine horizontale, um sie beide zu gleicher Zeit deutlich zu sehen. A. FICK sah vertikale Linien in 4.6 Meter Entfernung deutlich und zugleich horizontale in 3 Meter, HELMHOLTZ die vertikalen in 0.65 Meter, horizontale in 0.54 Meter Entfernung. Wenn die grösste dieser Sehweiten P ist und bei demselben unveränderten Accommodationszustande die kleinste für eine andere Linienrichtung $= p$, so brauchen wir als Maass des Astigmatismus

$$As = \frac{1}{p} - \frac{1}{P}.$$

So lange As kleiner als $\frac{1}{40}$, bringt es noch keine erheblichen Störungen des Sehens hervor, wenn es aber grösser wird, so wird die Gesichtsschärfe endlich wesentlich beeinträchtigt.

Astigmatische Augen bedürfen zur Correction Gläser mit cylindrischen Flächen: Cylinderbrillen, die nur nach einem Meridian gekrümmt sind und deren Brennweite man der Grösse As gleich gross wählt. Man stellt die geradlinigen Cylinderkanten, wenn die cylindrische Krümmung convex ist, der Richtung der entferntesten deutlich gesehenen Linien parallel oder senkrecht darauf, wenn die cylindrische Krümmung concav ist. Die zweite Fläche der Cylinderlinsen kann man sphärisch, concav oder convex, schleifen, so dass durch dasselbe Glas die gleichzeitig etwa vorhandene Myopie oder Hypermetropie corrigirt wird. Zur Untersuchung des Astigmatismus hat O. BECKER werthvolle Wandtafeln angegeben.

2. Chromatische Abweichung, Farbenzerstreuung.

Die Farbenzerstreuung des Auges wird gewöhnlich fast gar nicht bemerklich, trotzdem dass die Farbenzerstreuung der Augenmedien wohl sogar etwas grösser als die des destillirten Wassers ist. FRAUNHOFER entdeckte, dass das Auge verschiedene Brennweiten für verschiedenfarbige einfache Strahlen besitzt. Er bemerkte bei der Betrachtung eines prismatischen Spectrums durch ein achromatisches Fernrohr, in dessen

Ocular ein sehr feines Fadenkreuz angebracht war, dass er die Ocularlinse dem Fadenkreuz näher schieben musste, um dies deutlich sehen zu können, wenn er den violetten Theil des Spectrums im Gesichtsfeld hatte, als wenn er den rothen betrachtete. Helmholtz liess einfarbiges Licht eines Spectrums durch eine punktförmige Oeffnung in einen dunklen Schirm fallen, und bestimmte die Entfernung, in welcher die kleine Oeffnung noch punktförmig gesehen werden konnte; die grösste Sehweite seines Auges für rothes Licht betrug 8 Fuss, für violettes 1½ Fuss, und für das brechbarste Ueberviolett der Sonne, welches durch Abblendung des helleren Lichtes des Spectrums sichtbar gemacht wurde, nur einige Zoll.

Matthiessen berechnet den Abstand des rothen und violetten Brennpunkts im menschlichen Auge auf 2,58 bis 0,62 mm, während er in einem Auge von destillirtem Wasser gleich 0,434 mm sein würde.

Benutzung der chromatischen Aberration des Auges zur Bestimmung der Accommodationsbreiten. — Violette Gläser absorbiren die mittleren Strahlen des Spectrums ziemlich vollständig und lassen nur die äussersten Farben roth und violett hindurch. Befestigt man ein solches Glas hinter eine enge Oeffnung, in einem dunklen Schirm, so erscheint die vom Tageslicht beleuchtete Oeffnung des Schirmes dem Auge als ein leuchtender Punkt, der nur rothe und violette Strahlen aussendet*). Je nach der Entfernung, für die ein Auge accommodirt ist, erscheint der Punkt verschieden. Ist das Auge für die rothen Strahlen accommodirt, so geben die violetten einen Zerstreuungskreis, und es erscheint ein rother Punkt mit violettem Lichthof. Ist umgekehrt das Auge für die violetten Strahlen accommodirt, so geben die rothen einen Zerstreuungskreis, und es erscheint ein violetter Punkt mit rothem Hofe. Nur dann, wenn das Auge für keine der beiden Farben genau accommodirt ist, und zwar so, dass der Vereinigungspunkt der violetten Strahlen vor, der der rothen hinter der Netzhaut liegt, kann, wenn die beiden Zerstreuungskreise sich decken, der Lichtpunkt einfarbig violett erscheinen. Bei diesem Brechungszustand würden diejenigen Strahlen auf der Netzhaut vereinigt werden, deren Brechbarkeit die Mitte zwischen der der rothen und der violetten hält, also die grünen.

Man hat darin (Helmholtz, Czermak) ein Mittel von ziemlich grosser Empfindlichkeit, um die Entfernungen zu bestimmen, innerhalb welcher das Auge das gemischte roth-violette Licht einfach sehen kann. Die Farbendifferenz wird auch von Ungeübten ziemlich leicht bemerkt. Ist das Auge für Licht jeder Brechbarkeit auf grössere Entfernung als die des leuchtenden Punktes accommodirt, so ist der Zerstreuungskreis der rothen Strahlen grösser als der der violetten. Man erblickt dann eine violette Scheibe mit rothem Saum. Ist das Auge umgekehrt für kleinere Entfernungen eingestellt, so erscheint ein rother Zerstreuungskreis mit blauem Saume.

Bei weisser Beleuchtung macht sich die Farbenzerstreuung, wie gesagt, wenig bemerklich. Jenseits des Fernpunktes erscheinen, analog den Beobachtungen nur mit violettem und rothem Lichte, weisse Flächen mit einem schwachblauen Rande umgeben; liegen sie näher als der Accommodationspunkt, so zeigen sie einen schwachen rothgelben Rand. Gegenstände, für die man genau accommodirt ist, zeigen bei freier Pupille keine farbigen Ränder. Schiebt man aber dicht vor das Auge den Rand eines undurchsichtigen Blattes, und verdeckt dadurch der einen Hälfte der Pupille das Licht, so erscheint nun die Grenze zwischen einem weissen und schwarzen Bilde gelb gefärbt, wenn man das Blatt von der Seite vor die Pupille schiebt, wo das schwarze Feld liegt; blau gesäumt dagegen, wenn man es von der Seite des weissen Feldes her vorschiebt.

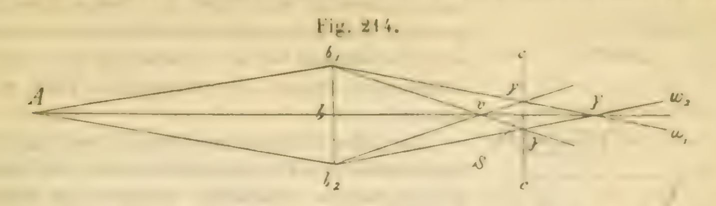
Alle Farbenzerstreuungsphänomene erklären sich dadurch, dass in Folge der chromatischen Aberration (S. 828) der hintere Brennpunkt der violetten Strahlen vor dem der rothen liegt (Fig. 214).

---

*) Will man mit Lampenlicht experimentiren, so hat man an Stelle des violetten Glases ein blaues, mit Kobalt gefärbtes zu verwenden.

In der Abbildung Fig. 214 ist A der leuchtende Punkt, $b_1 b_2$ der Durchschnitt der vorderen Hauptebene des Auges, in v schneiden sich die violetten, in γ die rothen Strahlen, cc ist der Durchschnitt der Ebene, in welcher sich die äussersten rothen Strahlen des gebrochenen Strahlenkegels $b_1 b_2 \gamma$ und die äussersten violetten $b_1 b_2 v$ schneiden. Die Figur zeigt, dass, wenn die Netzhaut vor der Ebene cc sich in v befindet, d. h. wenn das Auge für fernere Gegenstände als A accommodirt ist, die Netzhaut am Rande des Strahlenkegels nur von rothem Lichte, in der Axe aber von gemischtem getroffen werde. Steht sie in der Ebene cc, d. h. ist das Auge für Strahlen mittlerer Brechbarkeit von A accommodirt, so wird sie überall von gleichmässig gemischtem Lichte getroffen. Endlich, wenn die Netzhaut sich hinter der Ebene cc in γ befindet, das Auge also für nähere Gegenstände als A accommodirt ist, so trifft sie am Rande des Strahlenbündels nur violettes, in der Mitte gemischtes Licht. Geht vom leuchtenden Punkt A weisses Licht aus, so schalten sich die übrigen Farben zwischen roth und violett ein, wodurch die Wirkungen der Farbenzerstreuung die gleichen bleiben, aber weniger auffallend werden (HELMHOLTZ).

Fig. 214.



Entoptische Wahrnehmungen.

Unter gewissen Bedingungen macht HELMHOLTZ das in das Auge einfallende Licht eine Reihe von entoptischen, im eigenen Auge selbst befindlichen Gegenständen sichtbar. Für die Beleuchtung des hinter der Pupille gelegenen Augentheiles bildet die Pupille eine leuchtende Fläche von relativ grosser Ausdehnung. Bekanntlich werfen, wenn Licht von einer sehr breiten Fläche ausgeht, nur breite Gegenstände, oder solche, welche der den Schatten auffangenden Fläche sehr nahe sind, einen sichtbaren Schatten. Die Gefässe der Netzhaut befinden sich so nahe an der lichtempfindenden Fläche des Auges, dass sie immer einen Schatten auf die hinter ihnen liegenden Theile derselben werfen müssen. Aber eben weil diese hinter den Gefässen liegenden Theile der Netzhaut immer beschattet sind, weil der beschattete Zustand für sie der normale, gewöhnte ist, kann der Gefässschatten nur unter besonderen Umständen wahrgenommen werden.

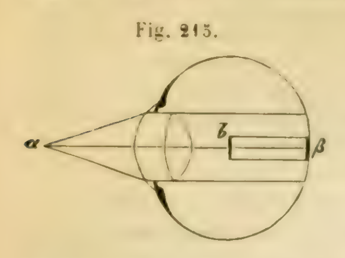
Man muss, um die kleinen, schattengebenden Körperchen in den durchsichtigen Theilen des Auges wahrzunehmen, Licht von einer sehr kleinen, leuchtenden Stelle, welche sehr nahe vor dem Auge sich befindet, in das Auge fallen lassen. Zu dem Zwecke genügt es, das im Fokus einer kleinen Sammellinse entworfene Bild einer fernen Lichtflamme nahe vor das Auge zu bringen, oder ein kleines gut polirtes metallenes Knöpfchen, welches von der Sonne oder der Lampe beschienen wird, oder nur einen Schirm von dunklem Papier, welcher Licht durch eine sehr kleine Oeffnung fallen lässt (HELMHOLTZ).

Liegt der leuchtende Punkt a zwischen dem Auge und seinem vorderen Brennpunkt f, so entwerfen die Augenmedien ein entfernteres, vor dem Auge liegendes Bild α von a, und die Strahlen durchdringen den Glaskörper in Richtungen, welche von α aus divergiren. Unter diesen Umständen wird von einem im Glaskörper befindlichen dunklen Körper b ein vergrössertes Schattenbild β auf der Netzhaut entworfen.

Liegt dagegen der leuchtende Punkt wie in Fig. 215 im vorderen Brennpunkt des Auges, so werden die von ihm ausgegangenen Strahlen im Glaskörper parallel, das Schattenbild ist gleichgross wie der schattenwerfende Körper. Ist schliesslich der leuchtende Punkt vom Auge

weiter entfernt als der vordere Brennpunkt des Auges *f*, so fällt das Bild von *a* hinter das Auge nach *α* und die Strahlen konvergiren im Glaskörper nach *α* hin. Das Schattenbild *β* ist dann kleiner als sein Object *b*. Dem entsprechend vergrossern sich die entoptisch sichtbar gewordenen Gegenstände scheinbar bei der Annäherung des Auges an den leuchtenden Punkt, im umgekehrten Falle werden sie kleiner.

Fig. 215.



Bei jeder Stellungsveränderung des Auges oder des leuchtenden Punkts verschieben sich die Schatten der Korper, welche verschieden weit von der Netzhaut abstehen, in verschiedener Weise. Daraus lehrte LISTING ihren Ort im Auge bestimmen. Der kreisförmige Schatten der Iris bildet die Grenze des entoptischen Gesichtsfelds. Fixirt man nach einander verschiedene Punkte des kreisformigen Feldes, so verschieben sich die Schatten aller Korper, welche nicht in der Ebene der Pupille liegen, gegen die kreisformige Begrenzung des Gesichtsfeldes, es ist das LISTING's relative entoptische Parallaxe; sie wird positiv genommen, wenn die Bewegung des Schattens die gleiche Richtung hat mit der Richtung des Visirpunktes, negativ, wenn sie entgegengesetzte Richtung hat. Die relative entoptische Parallaxe wird zu 0 für Objecte, welche in der Ebene der Pupille liegen, positiv für Objecte hinter der Pupille, negativ für Objecte vor der Pupille. Fur Objecte, welche der Netzhaut sehr nahe liegen, ist die Verschiebung der Schatten fast ebenso gross wie die des Visirpunktes, so dass diese den Visirpunkt bei seinen Bewegungen uberallhin begleiten, wenn sie nicht durch wirkliche Bewegungen (im Glaskörper) aus der Gesichtslinie entfernt werden (HELMHOLTZ).

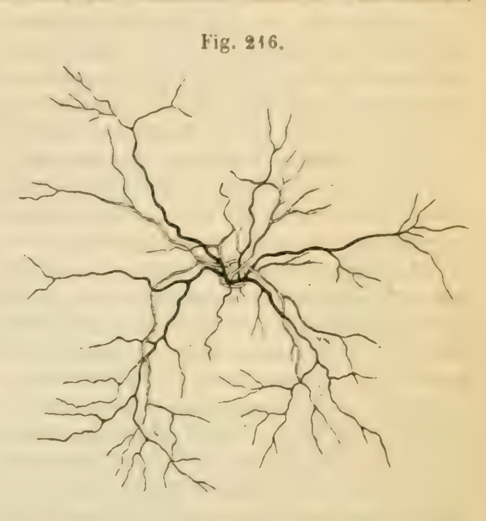
Die entoptisch gesehenen Gegenstände erscheinen im Gesichtsfelde verkehrt, weil alles, was auf der Netzhaut oben ist, im Gesichtsfelde unten erscheint und umgekehrt (cf. SCHEINER'scher Versuch).

Namentlich kurzsichtige Augen nehmen die normal in den brechenden Medien des Auges befindlichen geringfügigen Trübungen und Verdunkelungen bei stärkerer Beleuchtung ohne weitere Beihülfe wahr.

Folgendes kann entoptisch wahrgenommen werden (HELMHOLTZ): 1) Das helle entoptische Gesichtsfeld, es ist nahezu kreisrund, seine Ausdehnung entspricht der Oeffnung der Pupille, mit deren Weite sie wechselt; umgrenzt wird es von dem Schatten der Iris. 2) Von den Flüssigkeiten, welche die Hornhaut benetzen, von der Thränenfeuchtigkeit, Sekret der Augenliderdrüsen rühren im entoptischen Gesichtsfelde Streifen her, oder wolkige helle oder lichtere Stellen, tropfenähnliche Kreise mit hellerer Mitte, welche durch den Schlag der Augenlider schnell verwischt und verändert werden können. Sie zeigen eine selbständige Bewegung von oben nach unten, also eine wirkliche Bewegung nach oben. 3) Nach Reiben der geschlossenen Augen mit den Fingern erscheint für einige Zeit die etwas kraus gewordene Oberfläche der Hornhaut als wellige oder netzartige Streifen und Flecken. Als Reste von Entzündungen oder Verletzungen finden sich von der Hornhaut herrührend in manchen Augen konstante dunkle Flecken und Linien. 4) Von der Linse, von der vorderen Kapselwand und dem vorderen Theil des Krystallkörpers ruhren helle Perlflecken, oder dunkele, mannigfach gestaltete Flecken her, wohl durch partielle Verdunkelungen der Linse oder ihrer Kapsel bedingt. Dunkle, radiär gegen die Mitte des entoptischen Gesichtsfeldes zu laufende Linien scheinen Andeutungen des Linsensterns, dahin gehören wohl auch helle, meist zu einem unregelmässigen Stern geordnete Streifen. 5) Im Glaskörper erscheinen bewegliche Gebilde, die fliegenden Mucken (Mouches volantes), als Perlschnüre, als vereinzelte oder zusammengesetzte Kreise mit hellem Centrum, als unregelmässige Gruppen sehr blasser Kügelchen, oder als blasse Streifen, wie die Falten einer durchsichtigen Membran. Viele von ihnen befinden sich so nahe an der Netzhaut, dass besonders Kurzsichtige sie ohne weiteres sehen, wenn sie nach einer breiten, gleichmässig

erleuchteten Fläche, z. B. nach dem hellen Himmel blicken. Sie bewegen sich nicht nur scheinbar, sondern wirklich. Verändert man die Augenstellung rasch, hebt man z. B. den Blick, so folgen die Mucken der Bewegung des Visirpunktes, schiessen aber gewohnlich etwas über das Ziel hinaus und sinken dann wieder. Selbstverständlich kann man sie durch den Versuch, sie zu fixiren, nicht deutlicher sehen. Donders und Duncan fanden als Ursachen dieser fliegenden Mucken im Glaskorper mikroskopische Gebilde, blasse, in schleimigem Zerfall begriffene Zellen, mit Kornern besetzte Fasern, Haufen von Kornern und Kornchen etc. Die betreffenden kleinen Korperchen schwimmen, da sie specifisch leichter sind, in der Flüssigkeit des Glaskorpers, der hinteren Glaskörperhöhle (L. Lowe, S. 819). 6) Den Schatten der Netzhautgefässe (Helmholtz) (Fig. 216) kann man am leichtesten dadurch wahrnehmen, dass man starkes Licht, Sonnenlicht oder Lampenlicht, durch eine Convexlinse von kurzer Brennweite auf einen Punkt der äusseren Fläche der Sclerotica möglichst weit von der Hornhaut entfernt concentrirt. Blickt das Auge gleichzeitig gegen einen dunklen Hintergrund, so wird durch das von der Sclerotica aus in das Auge gelangende Licht der Schatten der Gefässe auf Netzhautpartien geworfen, die nicht gewöhnlich von dem Gefässschatten getroffen werden, die Beschattung also als einen veränderten Zustand zur Empfindung bringen können. Das Gesichtsfeld erscheint rothgelb erleuchtet, und es erscheint darin ein zartes dunkles Netz baumförmig verzweigter Gefässe: Purkinje'sche Aderfigur. Bewegt man den Brennpunkt auf der Sclerotica hin und her, so bewegt sich im gleichen Sinne auch die Aderfigur. In der Mitte des Gesichtsfeldes, dem Fixationspunkt entsprechend, zeigt sich eine gefässlose Stelle der Netzhaut, es ist dies die Stelle des directen Sehens, die Macula lutea, die im weiten Bogen von einem Gefässkranz umkreist wird; sie zeichnet sich durch besonderen Glanz aus und durch ein Aussehen wie »chagrinirtes Leder« (H. Müller). Man kann die Netzhautgefässe auch wahrnehmen, wenn man auf einen dunklen Hintergrund blickt und dabei unterhalb oder seitlich vom Auge ein brennendes Licht hin und her bewegt. Der Gefässbaum zeigt sich dann nur während der Bewegung des Lichtes. Auch hier zeigt sich die Netzhautgrube als eine helle Scheibe mit einem halbmondförmigen Schatten in der Mitte des Gesichtsfeldes (H. Müller). Eine dritte Methode besteht darin, dass man durch eine enge Oeffnung, die man vor der Pupille schnell hin und her bewegt, nach dem hellen Himmel oder nach einer anderen breiten, lichten Fläche blickt. Dass wir für gewöhnlich die Gefässschatten nicht sehen, erklärt Helmholtz (cf. oben) daraus, dass die Empfindlichkeit der beschatteten Stellen grösser ist als die der übrigen Theile der Netzhaut, so dass bei ihnen die um den Werth des Gefässschattens verminderte Lichtintensität ebenso stark erregend wirkt, wie an den übrigen Netzhautstellen die unverminderte Lichtstärke. Verändern wir den Ort des Schattens, so wird derselbe nun wahrnehmbar, weil die schwächere (um den Gefässschatten verminderte) Beleuchtung nun auf ermüdete, weniger reizbare Netzhautelemente fällt. Die reizbareren, früher beschatteten Netzhautelemente empfinden die volle Beleuchtung stärker, daher rührt es, dass im Anfang des Versuchs mit der Convexlinse der Gefässbaum zuweilen hell auf dunklem Grunde erscheint. Die Schwankungen in der Reizbarkeit gleichen sich sehr rasch aus, so dass nur bei beständigem Wechsel in der Beschattung der Netzhaut die beschriebenen Erscheinungen wahrgenommen werden können. 7) Beobachtung der Retinalpigmente. Blickt man bei dem Oeffnen der Augen im Augenblick des Erwachens

Fig. 216.



gegen eine helle Wand, so erblickt man die Aderfigur. A. Ewald erkannte dabei die Macula lutea innerhalb des oben beschriebenen Gefässkranzes als einen gelben, von einem rosagefärbten Hof umgebenen Fleck, es kommt also bei diesem Versuch die gelbe Fovea-Farbe und der umgebende Sehpurpur entoptisch zur Wahrnehmung. 8 Bei sehr greller Beleuchtung des Auges, z. B. durch Schneeflächen, erscheinen entoptisch auch die Blutkörperchen in den Netzhautkapillargefässen (cf. unten).

Augenleuchten und Augenspiegel.

Helmholtz. Das auf die Netzhaut fallende Licht wird zum Theil von den Pigmenten der Retina und Aderhaut absorbirt, zum kleineren Theil kehrt es reflectirt durch die Pupille nach aussen zurück. Für gewöhnlich nehmen wir nichts von diesem reflectirten Lichte wahr. Wenn wir das Auge eines Anderen oder unser eigenes im Spiegel beobachten, so erscheint die Pupille dunkelschwarz. Der Grund liegt darin, dass bei dem Auge wie bei allen Systemen brechender Medien, welche ein genaues Bild eines Gegenstandes entwerfen, das reflectirte Licht von dem Bildpunkte auf demselben Weg, auf dem es eingefallen, wieder zurückkehren kann. Fixirt sonach ein Auge genau einen Gegenstand, so vereinigen sich die von dem Augenhintergrund reflectirten Strahlen auch wieder genau in dem Objectpunkte. Um das aus dem Auge reflectirte Licht zu sehen, müsste sich der Beobachter zwischen das leuchtende gesehene Object und das beobachtete Auge hineinstellen, was so ohne weiteres natürlich nicht angeht, ohne dem beobachteten Auge das Licht abzuschneiden. Ist das beobachtete Auge für die Pupille des Beobachters accommodirt, so wird ein Bild der schwarzen Pupille des Beobachters auf der Netzhaut des beobachteten Auges entworfen, welches von den Augenmedien genau wieder auf die Pupille des Beobachters reflectirt wird. Dieser sieht sonach in der beobachteten Pupille nur den Wiederschein seiner eigenen, also schwarz. Daher erscheint gewöhnlich die Pupille und der Augenhintergrund schwarz, und man erkennt nicht einmal die stärker Licht reflectirenden Theile, wie die Sehnerveneintrittsstelle, die Gefässe etc. Bei Albinos, denen das Pigment der Choroidea fehlt, sieht man dagegen die Augen leuchten, weil das durch die Sclerotica einfallende Licht diffus reflectirt wird. Halten wir durch einen dunklen Schirm vor dem Auge, der nur eine der Pupille entsprechende Oeffnung hat, das Licht von der Sclera ab, so erscheint auch bei Albinos die Pupille schwarz. Auch das Objectiv einer Camera obscura erscheint aus den gleichen Ursachen, von vorn gesehen, schwarz, wenn nur ein Licht im Zimmer ist.

Es ist leicht einzusehen (Helmholtz), dass der Beobachter von allen jenen Punkten der Netzhaut des beobachteten Auges Licht empfangen kann, auf welches das Zerstreuungsbild seiner eigenen Pupille fällt. Denken wir uns die Pupille des Beobachters als leuchtende Scheibe, deren Zerstreuungsbild im beobachteten Auge entstehen würde, so gehen Lichtstrahlen von einem oder mehreren Punkten dieser leuchtenden Scheibe nach jedem Punkte ihres Zerstreuungsbildes hin, es können also auch rückwärts Lichtstrahlen nach einem oder mehreren Punkten der leuchtend gedachten Pupille des Beobachters von jedem Punkte der Netzhaut, der dem Zerstreuungskreis der leuchtenden Pupille angehört, gelangen. Der Beobachter wird also auch das beobachtete Auge leuchten sehen, so oft das Zerstreuungsbild seiner eigenen Pupille in dem beobachteten Auge zusammenfällt mit einem Theile des Zerstreuungskreises eines leuchtenden Gegenstandes. Die Pupille eines beobachteten Auges erscheint daher roth leuchtend, wenn der Beobachter dicht am Rande einer Lichtflamme vorbei, deren Strahlen er, um nicht geblendet zu werden, durch einen dunklen Schirm von seinem eigenen Auge abhält, nach dem Auge eines andern blickt, das für eine nähere oder viel weitere Entfernung accommodirt oder nur etwas seitwärts gerichtet ist.

Das Augenleuchten kommt noch besser zur Wahrnehmung, wenn man nicht direct das Licht der Flamme in das Auge fallen lässt, sondern von einer durchsichtigen, spiegelnden Fläche, etwa einer Glasplatte, reflectirt, wobei der Beobachter durch die reflectirende Platte

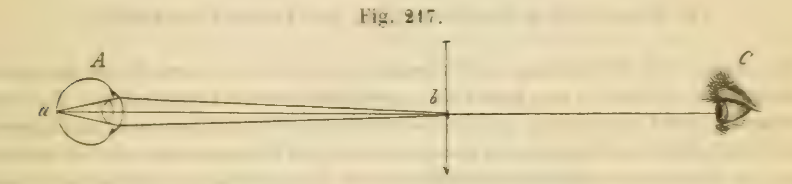
hindurch sehen kann. Das aus dem Auge zurückkehrende Licht wird z. Th. vom Spiegel nach der Lichtquelle reflectirt, z. Th. geht es aber auch durch die Platte hindurch und in die Pupille des Beobachters, der das betreffende Auge nun leuchten sieht. Statt spiegelnder Glasplatten kann man auch belegte Spiegel oder Metallspiegel, an denen man eine enge Oeffnung zum Durchsehen angebracht hat, benutzen. Trotz des Leuchtens kann der Beobachter bei diesen Versuchen doch für gewöhnlich nichts Genaues in dem Auge unterscheiden, weil er für das Bild, welches die Augenmedien vom Hintergrunde des beobachtenden Auges entworfen, nicht genau accommodiren kann. Um letzteres zu ermöglichen, müssen noch passende Glaslinsen hinzugenommen werden: Augenspiegel.

Der Augenspiegel, Ophthalmoskop, besteht aus einer Zusammenstellung eines Beleuchtungsapparates (Spiegel) mit solchen passenden Glaslinsen. Mit seiner Hülfe kann man die Bilder auf der Netzhaut und vor Allem Theile der Netzhaut selbst deutlich sehen und untersuchen.

Man kann verschiedene Mittel anwenden, um ein deutliches Bild des Augenhintergrundes zu erhalten.

Ohne Gläser geht es, wie gesagt, für gewöhnlich gar nicht.

Fig. 217.

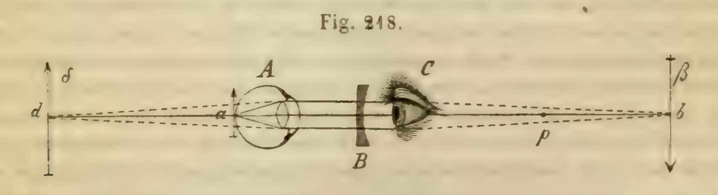


In der Figur (217) ist A das beobachtete Auge, a ein Punkt seiner Netzhaut, dessen Bild im Punkte b entworfen wird, in der Entfernung, in welcher das beobachtete Auge deutlich sieht, das Bild der Netzhautstelle ist verkehrt und vergrössert. Ein Beobachter müsste b aus C (seiner Sehweite) betrachten, das Gesichtsfeld wird aber dann, da es durch die Pupille des beobachteten Auges begrenzt wird, in dieser Entfernung so klein sein, dass er nichts deutlich erkennen kann.

Man kann das Bild des Augenhintergrundes auf zwei Weisen darstellen: 1) aufrecht und virtuell, durch eine concave Linse, oder 2) reell und umgekehrt durch eine convexe Linse.

1) Zur Darstellung im aufrechten virtuellen Bilde verwendet man eine Concavlinse B, deren Brennweite Bp kleiner ist als die Entfernung des Punktes b von ihr; eine solche macht die von A nach b hin konvergirenden Lichtstrahlen divergent, so als kämen sie aus einem scheinbar bei d im Rücken des beobachteten Auges liegenden Punkt her.

Fig. 218.



Wenn: p = Brennweite der Linse

$\alpha = Bb$ (Abstand der Linse vom eigentlichen Bilde des Augenhintergrundes)

$\gamma = dB$ (Abstand von dem durch die Linse entworfenen Bilde)

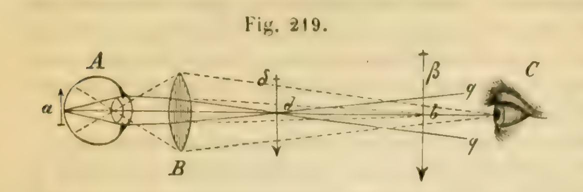
so ist: $\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{p}$.

γ ist gleich der Sehweite des Beobachters, die Entfernung des Punktes b richtet sich nach

der Sehweite des untersuchten Auges. Aus der Gleichung ist die Linse zu berechnen, die zur Beobachtung nöthig ist.

2) Zur Darstellung im reellen umgekehrten Bilde bringt man nahe vor das beobachtende Auge eine Convexlinse von 1—3 Zoll Brennweite. Die aus dem Auge nach b konvergirenden Strahlen werden dadurch schon in einem dem beobachteten Auge viel näheren Punkte d zur Vereinigung gebracht. Das beobachtende Auge kann dem beobachteten Auge nun entsprechend viel näher gebracht werden als ohne Linse und kann dabei doch noch für das Bild des Augenhintergrundes accommodiren: $\frac{1}{\alpha} - \frac{1}{\gamma} = \frac{1}{p}$.

Fig. 219.



Coccius und Heymann haben Autophthalmoskope construirt.

Zur historischen Entwickelung der Lehre vom Sehen.

Nach (Helmholtz) der Meinung der Platoniker und Stoiker von dem Wesen der Gesichtswahrnehmungen, an welche sich Roger Baco anschliesst, treffen Lichtstrahlen, die von dem Auge ausgehen, auf Lichtstrahlen, welche von sichtbaren Objecten kommen, und kehren von dort mit dem Gefühle der Gegenstände wieder zurück. Die Epikureer dachten sich kleine körperliche, die Peripatetiker unkörperliche Bilder von den sichtbaren Gegenständen ausströmen. Aristoteles lehrte, dass ein unkörperliches Wesen das Sehen bedinge. Das Auge nimmt nicht die Materie selbst wahr, sondern nur einen Schein derselben, wie den Abdruck eines Siegels in Wachs. Die Meinung des Aristoteles hielt sich in realistischer Umsetzung sehr lange, wir finden sie noch bei Oribasius und Celsus, man behauptete, die Objecte machten einen Eindruck auf die zunächstliegende Luft, diese auf die angrenzende, und so fort bis zur Krystalllinse, welche man für das Hauptorgan des Sehens hielt. Cartesius substituirte zuerst für Luft ein hypothetisches, ätherisches Medium. Er glaubte, das Sehen würde bedingt durch die Schwingungen eines überall verbreiteten, also auch im Auge befindlichen Aethers, welche durch feine Nervenfasern dem Sensorium zugeleitet würden. Die Sonne drücke gegen den feinen Aether und errege hierdurch seine Schwingungen.

Maurolycus verglich die Krystalllinse des Auges mit einer Glaslinse, welche die Lichtstrahlen der Axe zu breche. Porta, der Erfinder der Camera obscura, verglich das Auge mit seinem Instrumente, glaubte aber, dass das optische Bild auf der vorderen Linsenfläche entworfen würde. Erst Keppler, der Entdecker der Theorie der optischen Instrumente, zeigte, dass auf der Netzhaut das Bild entstehen müsse. Als Bedingung des deutlichen Sehens stellt er auf, dass die Strahlen je eines leuchtenden Punktes wieder auf je einem Punkte der Netzhaut vereinigt werden. Nach seiner Lehre werden die von den gesehenen Objecten ausgehenden Lichtstrahlen nach dem Gesetze der Brechung für durchsichtige Medien mit krummen Oberflächen zunächst durch Hornhaut und wässerige Feuchtigkeit der Axe des Auges zu gebrochen, durchkreuzen sich in der Linse und erzeugen ein verkleinertes, verkehrtes Bild auf der Retina. Der Jesuit Scheiner demonstrirte zuerst das Netzhautbildchen an ausgeschnittenen Augen, an denen er einen Theil der Augenhäute entfernt hatte. Im Jahre 1625 stellte er diesen Versuch an einem menschlichen Auge zu Rom an. Sein oben erwähnter Versuch zur Erklärung der Accommodation ist noch heute ein Grundversuch. Gegen die Keppler'sche Theorie, welche von nun an zwar ziemlich allgemeine Geltung behielt, erhob sich noch mannigfacher Widerspruch. Man leugnete einerseits das Netzhautbild; es seien in dem nicht ausgeschnittenen Auge die Bedingungen zur Erzeugung eines solchen nicht gegeben (Mühlbach, Campbell), auf der anderen Seite schloss man sich an die Meinung Lehot's an,

nach der im Glaskörper ein räumliches Bild entstehen solle. PLAGGE hielt sogar das auf der Hornhaut durch Spiegelung entstehende Bild für das Object des Sehens, das nach J. READE durch die Nerven der Hornhaut empfunden wurde. Nach ANDREAS HORN wirkt die Netzhaut als Hohlspiegel, sie reflectirt das Bild gegen den Glaskörper, welcher von hier aus auf die Sehnerven wirke.

Die Accommodationsfähigkeit des Auges hat zu vielen Streitigkeiten Veranlassung gegeben. MUNCKE stellt (1827) die Möglichkeiten, auf welchen die Accommodation beruhen konnte, zusammen: entweder muss, angenommen die Retina selbst steht unbeweglich fest, die Krystalllinse sich der Retina bei Betrachtung entfernterer Gegenstände nähern, bei näheren sich weiter von ihr entfernen; oder die Krystalllinse ändert ihre Form, sie wird flacher beim Anblick entfernterer, convexer bei dem näherer Gegenstände; oder es ändert sich die Form des Auges und die Krümmung der Hornhaut in der Art, dass für entferntere Objecte das Auge flacher, für nahe convexer oder länger wird. Ausser diesen drei Meinungen wurde noch eine vierte vertheidigt, welche die Accommodation nur auf die veränderliche Weite der Pupille schob.

KEPPLER glaubte, wie ALBINUS, dass bei der Accommodation für die Nähe der Strahlenkörper durch seine Zusammenziehung auf den Glaskörper drücke, wodurch die Krystalllinse vorwärts gerückt würde. Nach PORTERFIELD (1759) wäre diese Contraction des Strahlenkörpers muskulös, nach ZINN träte sie durch vermehrten Flüssigkeitszufluss ein. SCHEINER und CARTESIUS vertraten die Meinung, dass durch die Contraction des Strahlenkörpers die Linse convexer werde. PEMBERTON und YOUNG glaubten, die Aenderung in der Convexität träte durch Contractionen muskulöser Fasern in der Linse selbst ein. MOLINET meinte, dass durch die Contraction der vier geraden Augenmuskeln das Auge verkürzt und dadurch zum Sehen entfernterer Gegenstände geeigneter werde, BOERHAVE glaubte umgekehrt, dass diese Contraction eine Verlängerung des Augapfels zur Accommodation für die Nähe bewirke. JURIN hatte eine stärkere Krümmung der Hornhaut für das Nahesehen postulirt. YOUNG's mit grosser Genauigkeit ausgeführte Messungen (1801) bewiesen, dass weder die Convexität der Hornhaut, noch die Länge der Augenaxe sich bei der Accommodation verändere. F. v. HALLER vertheidigte wie LE ROY die Meinung LA HIRE's, dass die eintretende Verengerung der Pupille die Accommodation für die Nähe bewirke, auch bei der Camera obscura würden die Bilder naher Gegenstände deutlicher, wenn man die Oeffnung verkleinert. Andere, wie auch MAGENDIE, leugnen sogar die Accommodation ganz (das Nähere bei HELMHOLTZ, Physiologische Optik).

Ueber den Gebrauch von Brillengläsern findet sich die erste Notiz bei PLINIUS (L. XXXVII. c. 5). Er erzählt von gewissen Smaragden, »dass sie das Gesicht sammelten« (visum colligere) und deshalb nicht geschnitten werden dürften, und dass der Kaiser NERO, welcher kurzsichtig war, durch einen solchen Smaragd die Kämpfe der Gladiatoren zu betrachten pflegte. Im Anfange des 14. Jahrhundert wurden die Brillen als neue Erfindung betrachtet. Ein Florentiner Edelmann, SALVINUS ARMATUS, gest. 1317, wird in seiner Grabschrift als Erfinder der Brillen bezeichnet. ALEXANDER DE SPINA, ein Mönch aus Pisa, gest. 1313, soll bei Jemand, der ein Geheimniss daraus machte, Brillen gesehen und sie nachgemacht haben. MAUROLYCUS versuchte eine Theorie der Brillen, KEPPLER gab die vollständig richtige.

III. Die Gesichtsempfindungen.

Die Reizung des Sehnervenapparates.

Ein Theil des Nervenapparates des Körpers (HELMHOLTZ) besitzt die specifische Fähigkeit, dass durch seine Erregung Empfindungen entstehen, welche dem Kreise des Gesichtssinnes angehören, und welche wir im Allgemeinen als

Lichtempfindungen bezeichnen. Wir nennen den die Lichtempfindung vermittelnden Abschnitt des Nervensystems, zu welchem die Netzhaut, der Sehnerv und ein noch nicht genau abgegrenzter Theil des Gehirnes gehört, in welchen die Sehnervenwurzeln eintreten, nach J. Müller die Sehsinnsubstanz oder den Sehnervenapparat. Das häufigste und wichtigste Reizmittel für den Sehnerven ist das objective Licht. Die Netzhaut und der Sehnerv liegen vor mechanischen Einwirkungen geschützt, innerhalb fester Umhüllungen, die jedoch zum Theil dem Lichte leicht durchgängig sind. Die Reizung der Netzhaut und des Sehnerven erfolgt daher mit überwiegender Häufigkeit durch Licht. Wir bezeichnen denjenigen Theil der Aetherschwingungen, welcher im Auge Lichtempfindungen hervorruft, als Licht, ein Name, der eigentlich nur der dadurch erregten Empfindung zugetheilt werden sollte. Aetherschwingungen, die sich von dem Lichte nur durch eine verschiedene Schwingungsdauer unterscheiden, die unsere Sehsinnsubstanz nicht, wohl aber unseren Wärmesinnapparat erregen, bezeichnen wir als Wärme. Der Unterschied zwischen Licht und Wärme ist also nur ein quantitativer, kein qualitativer, wie uns unsere Sinnesempfindungen vortäuschen.

Jede beliebige Reizung des normalen Sehnervenapparates ruft ebenso wie die Reizung durch objectives Licht Lichtempfindungen hervor. Sie treten abgesehen von der Lichtreizung ebenso ein durch Reizung aus »inneren Ursachen« wie durch mechanische, electrische und chemische (?) Erregung.

Bei plötzlicher mechanischer Erregung, z. B. durch Schlag oder Stoss auf das Auge, erscheint, besonders lebhaft im Dunklen, ein blitzartiger, oft sehr heller, aber rasch wieder verschwindender subjectiver Lichtschein über das ganze Gesichtsfeld hin. Beschränkter Druck mit einer stumpfen Spitze gegen den Augapfel erzeugt an der dem Druck entsprechenden Netzhautstelle eine begrenzte Lichterscheinung mit hellem Centrum, meist umgeben von einem dunklen und einem hellen Kreise: ein Druckbild, Phosphen. Nach den schon mehrmals erwähnten Gesetzen, nach welchen wir die Reizung der Netzhaut nach aussen in das Gesichtsfeld zu verlegen pflegen, erscheint die Druckfigur, wenn wir den Augapfel z. B. oben drücken, an der unteren Grenze des Gesichtsfeldes, drücken wir unten und innen, so erscheint sie oben und aussen. Uebt man längere Zeit einen möglichst gleichmässigen Druck auf den Augapfel aus, so erscheinen nach kurzer Zeit wechselnde, lichtglänzende Figuren im Gesichtsfelde in veränderlich phantastischem Spiele. Oeffnet man das Auge gegen helle Objecte, so herrscht dann im ersten Momente Dunkelheit, aus der sich erst allmälig in der Mitte des Gesichtsfeldes einzelne hellglänzende Objecte herausheben. Auf eine mechanische Ursache, auf Zerrung des Sehnerven an seiner Eintrittsstelle sind auch jene feurigen Ringe und Halbringe zurückzuführen, welche im Dunklen, bei raschen Augenbewegungen auftreten, besonders bei starker Drehung des Auges nach innen, wie man sie bei der Accommodation für die Nähe auszuführen pflegt. Hustet man im Dunkeln, so wird in Folge der momentanen Stauung des Blutes im nervösen Apparate des Auges dieser letztere gereizt und man sieht Lichtblitze vor den Augen. Sind die Augen stärker empfindlich, so bemerke ich beim Husten im Dunkeln eine allgemeine schwache Erhellung des Gesichtsfeldes, auf welchem sich von dem bläulich grauen Grunde die Netzhautgefässe in stärkerem bläulichem Lichte in ihrer ganzen Ausdehnung scharf abheben. Man nennt (Purkinje, Czermak) den schmalen Feuerring im Umkreis des Gesichtsfeldes, welcher aufblitzt, wenn man im Finstern die Augen für das Sehen in nächster Nähe eingerichtet und dann plötzlich wieder für die Ferne accommodirt, Accommodationsphosphen. Bei starker Accommodation für die Nähe tritt beim Blick auf eine leuchtende Fläche rasch eine Verdunkelung des Gesichtsfeldes ein, was auch auf eine dabei stattfindende mechanische Reizung hindeutet. Man hielt es

früher für ein wunderbares Paradoxon, dass die Netzhaut, welche fähig ist, ein so feines Agens wie das Licht zu empfinden, gegen grobe mechanische Misshandlungen ziemlich unempfindlich ist, d. h. dabei keinen in das Gebiet der Tastempfindungen gehörigen Schmerz empfinden lässt. Es fehlt ihr aber nicht die Empfindlichkeit, die Form der Empfindung ist jedoch eine specifische.

Aus sogenannten »innern Ursachen« treten mannigfache Lichtempfindungen auf. Der Hauptsache nach mögen diese sogenannten inneren Ursachen mechanische Veränderungen in der Sehsinnsubstanz sein, z. B. vermehrter Druck des Blutes in den Gefässen oder den Augenflüssigkeiten. Manchmal, z. B. bei narkotischen Vergiftungen, kann man an eine Art chemische Reizung durch Veränderung in der Zusammensetzung des Blutes denken. Manche dieser Erscheinungen sucht man wohl auch zu erklären durch Ausbreitung des Reizzustandes innerhalb der nervösen Centralorgane von anderen Theilen des Nervensystems auf das Gebiet des Sehsinnes, nach dem Gesetze der Mitempfindung. Nach diesem Gesetze soll z. B. bei manchen Personen der Anblick grosser, heller Flächen, z. B. erleuchteter Schneefelder, Kitzel in der Nase erregen. Derartige Mitempfindungen scheinen im Sehnervenapparate, z. B. bei Hypochondern, besonders von den Empfindungsnerven der Eingeweide ausgehen zu können. Wahre **Phantasmen**, Hallucinationen, d. h. subjective Lichtbilder bekannter äusserer Objecte, scheinen öfters auch dadurch zu entstehen, dass von den Theilen des Gehirnes, welche bei der Bildung von Vorstellungen thätig sind, aus inneren Ursachen entstandene Erregungszustände auf den Sehnervenapparat übertragen werden. Doch treten auch die auf inneren, mehr oder weniger krankhaften Vorgängen im Auge oder im Sehnerven beruhenden Lichterscheinungen nicht immer nur als unregelmässige Lichtflecken, sondern auch in Gestalt von Menschen, Thieren, Gegenden oder regelmässigen Mustern auf (Nägeli, Le Roy). Man hat dabei das entschiedene Gefühl, wirklich zu sehen, welches nicht nur bei Irren und Fieberkranken, sondern auch bei Gesunden Ursache von Täuschungen werden kann (J. Müller).

Niemals ist das dunkle Gesichtsfeld auch bei gesunden Menschen von subjectiven Lichterscheinungen vollkommen frei. Man hat sie als Lichtchaos oder Lichtstaub des dunklen Gesichtsfeldes bezeichnet. Das Gesichtsfeld ist, unregelmässig mit den Athemzügen wechselnd, schwach beleuchtet, mit schwankenden Lichtflecken bedeckt, Moosstielchen, Blättern, Nebelstreifen ähnlich, die besonders in unbekannten dunkelen Räumen sich auch zu Phantasmen gestalten können. Häufig sehe ich das sonst schwarze Gesichtsfeld mit äusserst feinen, aber regelmässig angeordneten Lichtpünktchen bedeckt, welche bei aufmerksamer Betrachtung regelmässige eckige Formen zeigen. Purkinje sah feine Pünktchen, welche sich bewegten und lichte Streifchen hinter sich zurückliessen. Bei raschem Erheben aus horizontaler Lage treten hier und da grössere glänzende, sich bewegende Funkenerscheinungen auf.

Schwankungen electrischer Ströme sind für den Sehnervenapparat, wie für die übrigen Nerven, starke Erregungsmittel. Man darf, wegen der Nähe des Gehirnes, bei diesen Untersuchungen nur schwache Ströme verwenden. Schon bei Schliessung oder Oeffnung schwacher Ströme zeigen sich starke Lichtblitze, die bei gleicher Stromintensität stärker sind, wenn der Sehnerv in aufsteigender Richtung durchflossen wird (Pfaff). Leitet man einen konstanten Strom dauernd durch den Sehnerven und das Auge (Helmholtz), so treten Veränderungen der Reizbarkeit ein, die ebenfalls nach der Stromrichtung verschieden sind. Durch einen schwachen aufsteigenden Strom wird das dunkle Gesichtsfeld des geschlossenen Auges heller als vorher und nimmt eine weisslich violette Farbe an. Im ersten Augenblicke erscheint die Eintrittsstelle des Sehnerven als eine dunkle Kreisscheibe. Die Erhellung nimmt schnell an Intensität ab und verschwindet ganz bei der Unterbrechung des Stromes, mit der Verdunkelung des Gesichtsfeldes stellt sich nun eine röthlich gelbe Färbung des Eigenlichtes der Netzhaut ein. Bei Schliessung des Stroms in absteigender Richtung wird sofort das Eigenlicht der Netzhaut dunkler und röthlich gelb gefärbt, die Eintrittsstelle des Sehnerven erscheint als blaue Scheibe auf dunklem Grunde. Bei Unterbrechung des Stromes

hellt sich das Gesichtsfeld wieder auf und erscheint nun bläulich weiss erleuchtet, der Sehnerveneintritt dunkel. Lässt man die Electricität durch einen schmalen Zuleiter unmittelbar in den Augapfel selbst eintreten, so erscheint die Hälfte des Gesichtsfeldes, wechselnd mit der Stromrichtung, hell, die andere dunkel. HELMHOLTZ verglich diese Abwechselung und Aenderung im Erregungszustande des Sehnerven durch den konstanten Strom mit den Phasen der Erregbarkeit im Electrotonus. Die Erscheinungen erklären sich aus dem electrotonischen Zustande der radial verlaufenden Nervenfasern der Netzhaut, wenn man annimmt, dass an ihrem hinteren Ende eine fortdauernde schwache Reizung durch innere Ursachen erhalten wird, wie eine solche in dem Eigenlichte der Netzhaut sich zu erkennen gibt. Da die Fasern von einem Mittelpunkte ausstrahlen, so werden, wenn ein electrischer Strom die Netzhaut durchsetzt, die entgegengesetzt verlaufenden auch in die entgegengesetzten Electrotonusphasen verfallen müssen, da die einen aufsteigend, die anderen absteigend durchströmt werden. So wird also auf der einen Seite des Netzhautcentrums Erhöhung, auf der anderen Verminderung der Erregbarkeit herrschen, was den obigen Angaben entspricht. Bei sehr starken Strömen sah RITTER eine Umkehr der oben beschriebenen Färbung des Netzhauteigenlichtes eintreten. Bei der zweiten Art der Zuleitung wirkt Stromunterbrechung zuerst kurz wie Stromumkehr.

Die lichtempfindlichen Apparate.

Wie die übrigen Nervenapparate kann, wie wir sahen, der Sehnervenapparat durch die allgemeinen Nervenreize in den Erregungszustand versetzt werden. Die Fähigkeit, durch objectives Licht erregt zu werden, ist dagegen ihm allein eigenthümlich. Das objective Licht gehört nicht zu den allgemeinen Nervenreizmitteln und selbst auch die Nervenfasern des Sehnerven und der Retina können dadurch nicht in Erregung versetzt werden. Nur in specifischen Reizapparaten an den Enden der Opticusfasern in der Netzhaut, in den Zapfen und Stäbchen vermag das objective Licht den Anstoss zu einer Nervenerregung zu geben. Diese lichtempfindlichen Elemente der Netzhaut unterscheiden sich durch diese Fähigkeit der Lichtempfindung functionell von allen übrigen Theilen des Nervensystemes. Sie nur sind im Stande, auf eine für uns noch unbekannte Weise das Licht in einen Nervenreiz umzusetzen. Nur soviel steht darüber fest, dass erst secundär, in Folge gewisser durch das Licht in den lichtempfindlichen Apparaten hervorgerufener Veränderungen die mit ihnen verbundenen Fasern des Opticus gereizt werden. Wir wissen aber noch nicht, ob diese reizenden Veränderungen in einer mechanischen Vibration bestehen, oder in einer electrischen Umlagerung der Moleküle in der Weise, wie sie bei der Reizung die electromotorischen Moleküle der Muskeln und Nerven nach E. DU BOIS-REYMOND erleiden, oder in einer Erwärmung, oder ob, wie man gegenwärtig nach der Entdeckung der Retinalpigmente vorwiegend geneigt ist anzunehmen, die lichtempfindliche Netzhautschicht ein photochemischer Apparat ist.

Der Beweis dafür, dass die Nervenfasern der Retina nicht direct durch Licht erregt werden können, ist durch den Nachweis des **blinden Flecks im Auge** geführt worden. An der Stelle, an welcher der Sehnerv in das Auge eintritt, liegt die Masse der Nervenfasern frei gegen die durchsichtigen Theile des Auges gekehrt, sie ist so durchscheinend, dass das Licht, welches auf sie fällt, merklich in sie eindringen kann. Hier fehlt aber, wie wir wissen, die Stäbchen-

und Zapfenschicht und es zeigt sich, dass das Licht, welches auf die Eintrittsstelle des Sehnerven fällt, nicht empfunden wird (Fig. 220).

Fig. 220.



Schliesst man das rechte Auge und fixirt, ohne mit dem Blick seitwärts zu schwanken, mit dem linken Auge das weisse Kreuzchen in der oben stehenden Figur und bringt das Buch in der gewöhnlichen horizontalen Richtung der Zeilen in eine Entfernung von etwa einem Fuss vom Auge, so findet man leicht eine gewisse Stellung, in welcher der weisse Kreis gänzlich verschwunden ist und der schwarze Grund ununterbrochen erscheint. Ebenso kann man alle auf den Kreis gelegten, weissen, schwarzen oder farbigen Gegenstände von gleicher Grösse verschwinden lassen. Es existirt sonach im Gesichtsfelde und entsprechend in der Netzhaut eines jeden Auges eine gewisse Stelle, an welcher nichts gesehen wird, ein blinder Fleck. Diese Stelle ist, wie man aus den optischen Grössen- und Lagebestimmungen, sowie aus objectiven und subjectiven Beobachtungen mit dem Augenspiegel (Donders, Coccius) findet, die Eintrittsstelle des Sehnerven. Der Versuch zeigt uns, dass der blinde Fleck, entsprechend der Lage des Sehnerveneintritts, im Gesichtsfelde nach aussen vom Fixationspunkte, in der Netzhaut sonach gegen die Nasenseite zu von dem Orte des directen Sehens, des gelben Flecks gelegen sei. Seine Form ist eine wenig unregelmässige Ellipse, an der sich noch einige schmale Ansätze, die ziemlich weit in das Feld der Netzhaut hineinragen, die Anfänge der grösseren Gefässstämme, erkennen lassen. Zur weiteren Bezeichnung der Grösse des blinden Flecks im Gesichtsfelde führt Helmholtz an, dass auf seinem Durchmesser neben einander 11 Vollmonde Platz haben würden, und dass in ihm ein 6 bis 7 Fuss entferntes menschliches Gesicht verschwinden kann.

Ein directer Beweis dafür, dass nur die hinteren Schichten der Netzhaut die Lichtempfindlichkeiten besitzen, ergibt sich daraus, dass wir im Stande sind, entoptisch den Schatten der Netzhautgefässe wahrzunehmen. Letztere liegen in der Schicht der Nervenfasern, und ihre feinen Verzweigungen treten auch in die Schicht der Nervenzellen und in die fein granulirte Schicht ein. Aus den Bewegungen des Gefässschattens bei Bewegung der Lichtquelle mussten wir schliessen, dass die den Schatten empfindende Schicht in sehr geringer Entfernung hinter den Gefässen liege. H. Müller berechnete diese Entfernung zu 0,17 bis 0,36 mm, und seine Messungen ergaben, dass die Entfernung der Gefässe von der Stäbchen- und Zapfenschicht wirklich zwischen 0,2 bis 0,3 mm beträgt, sodass damit bewiesen ist, dass die lichtempfindliche Schicht in den äusseren Netzhautschichten zu suchen ist. Noch weiter anschaulich

wird uns die Bedeutung der Stäbchen- und Zapfenschicht aus dem oben beschriebenen Bau des gelben Flecks, in welchem die übrigen Netzhautschichten die bekannte Reduction zeigen. Sowohl den Stäbchen als den Zapfen kommt nach den Beobachtungen von M. SCHULTZE die Lichtempfindlichkeit zu, doch zeigt das alleinige Vorkommen von Zapfen im gelben Flecke, dem Ort des directen und schärfsten Sehens, dass die Zapfen, obwohl sie nach KÜHNE keinen Sehpurpur enthalten sollen, zum wenigsten einen gewissen Vorzug vor den Stäbchen besitzen. Auch aus dem Grade der Genauigkeit, den das Sehen erreichen kann, rechtfertigt sich die Annahme, dass die Stäbchen und Zapfen die letzten empfindenden Elemente der Netzhaut bilden. Das beste von E. H. WEBER untersuchte Auge konnte zwei weisse Striche, deren Mittellinien 0,00526 mm (= 73 Secunden Gesichtswinkel von einander abstanden, noch als gesondert unterscheiden; HELMHOLTZ gelingt die Unterscheidung bei stärkerer Beleuchtung und möglichst günstigen Umständen noch bei einem Abstand von nur 0,00464 mm (= 63″ G. W.), nach den Angaben von HOOK kann ein gewöhnliches Auge erst zwei Sterne, deren scheinbarer Abstand von einander 0,06438 mm (= 60″ G. W.) beträgt, sicher als gesondert unterscheiden. Nach VOLKMANN und HIRSCHMANN bekommt man noch kleinere Werthe bis zu 0,00356 mm (= 50″ G. W.). Nach Messungen von H. MÜLLER beträgt die Dicke der Zapfen im gelben Flecke 0,0015 bis 0,0020 mm, nach M. SCHULTZE bis 0,0025, nach WELCKER von 0,0031 bis 0,0036 mm. Ihre stabförmigen Enden fand SCHULTZE zu 0,00066 mm. Ihre Feinheit reicht sonach für die Erklärung der Schärfe des Unterscheidungsvermögens des Auges aus.

Nach den Seitentheilen der Netzhaut zu nimmt die Unterscheidungsfähigkeit von dem Netzhautcentrum aus ab, und zwar nach oben und unten schneller als nach der äusseren Netzhautseite hin (AUBERT und FÖRSTER). Da sich eine gleich starke Abnahme der Genauigkeit der optischen Bilder nach den Seitentheilen der Netzhaut zu, wenigstens im ausgeschnittenen Kaninchenauge, nicht findet, so scheint aus dieser Beobachtung hervorzugehen, dass überhaupt die Unvollkommenheit des Sehens auf den seitlichen Netzhauttheilen nicht sowohl von der grösseren Undeutlichkeit der optischen Bilder, als vielmehr von der geringeren Empfindlichkeit der Netzhaut abhängig sei.

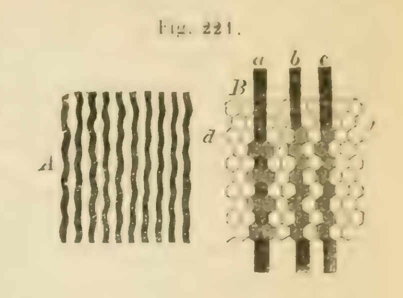
Das Licht, welches auf ein einziges lichtempfindendes Netzhautelement fällt, wird auch nur eine einzige Lichtempfindung hervorrufen. Lichtstarke Objecte, auch von verschwindend kleiner, scheinbarer Grösse, wie die Fixsterne, können, obwohl ihre Grösse geringer ist als die eines lichtempfindenden Elementes, vom Auge wahrgenommen werden. Dagegen können zwei helle Punkte nur dann getrennt erkannt werden, wenn der Abstand ihrer Bilder grösser ist als die Breite eines Netzhautelementes. Wäre er kleiner, so würden beide Bilder immer auf dasselbe oder auf zwei benachbarte Nervenelemente fallen müssen. Im ersteren Fall würden beide Lichtpunkte nur eine einzige Empfindung hervorrufen, im zweiten Fall zwar zwei, aber in benachbarten Elementen, wobei wohl kaum eine Entscheidung möglich wäre, ob zwei gesonderte Lichtpunkte oder einer, dessen Bild auf die Grenze beider Elemente fällt, die Reizung verursachte. Ist der Abstand der beiden hellen Bilder oder wenigstens ihrer Mitte von einander grösser als die Breite eines empfindenden Elements, erst dann können die beiden Bilder auf zwei verschiedene Elemente fallen, die sich gegenseitig nicht berühren und zwischen denen ein Element zurückbleibt, welches nicht oder wenigstens schwächer als die beiden ersten von Licht getroffenen wird (HELMHOLTZ).

VOLKMANN schloss aus seinen oben erwähnten Versuchen, dass die Zapfen des gelben Flecks nicht fein genug seien, um die Feinheit des Unterscheidungsvermögens, dessen Minimalgrösse etwa 30 mal kleiner als die Zapfendurchmesser seien, zu erklären. Es kann in dieser

Beziehung noch daran erinnert werden, dass der faserige Bau des Körpers, der Zapfen und ihrer nervösen Fortsätze darauf zu deuten scheinen (M. SCHULTZE), dass sie noch eine feinere Structur besitzen, die eine noch viel weiter gehende Unterscheidungsfähigkeit erklären könnte, wenn wir diese Fasern als letzte empfindende Elemente betrachten dürften.

Zur Prüfung der Feinheit des Unterscheidungsvermögens benutzte HELMHOLTZ ein feines, vor den hellen Himmel gestelltes Drahtgitter, bei welchem der Zwischenraum zwischen den schwarzen Drähten gleich breit war wie die Drähte selbst. An der Grenze des Unterscheidungsvermögens fand HELMHOLTZ eine auffallende Formveränderung der geraden hellen und dunkelen Linien. Die weissen Streifen erschienen zum Theil wellenförmig gekrümmt, zum Theil perlschnurförmig mit abwechselnd dickeren und dünneren Stellen. Er führt diese Unregelmässigkeit auf das Mosaik der Retina zurück, deren auf dem Durchschnitt etwa sechseckige Elemente bei reihenweise (linienförmig) stattfindender Erregung nur je eines Netzhautelementes solche Krümmungen der erregenden geraden Lichtlinie vortäuschen müssen. Es kommt hierbei sonach die Gestalt der erregten Netzhautelementarflächen direct zur Beobachtung (Fig. 221).

Fig. 221.



Zur ärztlichen Bestimmung der Sehschärfe werden in der Regel Buchstaben von verschiedener Grösse benutzt, welche man aus grösserer Entfernung und mit passender Unterstützung der Accommodation durch Brillengläser betrachten lässt. Man benutzt als Maass der Sehschärfe einen Bruch, dessen Zähler der Abstand ist, in welchem jene Buchstaben noch gelesen werden konnten, dessen Nenner dagegen die Entfernung ist, aus der sie unter einem Winkel von 5 Winkelminuten erscheinen. Die letzteren Entfernungen sind bei den Buchstabenproben, welche SNELLEN veröffentlicht hat, angegeben. Im Durchschnitt ist diese Genauigkeit nach DE HAAN im 10ten Lebensjahre gleich 1,1, im 40sten gleich 1,0, im 80sten gleich 0,5, und nimmt mit steigendem Lebensalter continuirlich ab. Bei sehr starker Beleuchtung und Correction des Astigmatismus findet man die Sehschärfe um $^1/_3$ oder $^1/_4$ grösser als DE HAAN (E. JAVAL).

Farbenwahrnehmungen.

Die Lichteindrücke auf unser Sehorgan zeigen qualitative Verschiedenheiten. Das objective Sonnenlicht ist aus Licht von verschiedener Schwingungsdauer zusammengesetzt, welches sich in physikalischer Beziehung durch verschiedene Wellenlänge, Brechbarkeit und Absorptionsfähigkeit in gefärbten Substanzen unterscheidet. Subjectiv, physiologisch unterscheiden wir Licht von verschiedener Schwingungsdauer dadurch, dass es in unserem Auge die Empfindung verschiedener Farben erregt.

Lassen wir eine feine Lichtlinie des Sonnenlichtes durch ein Prisma treten, so erscheint bekanntlich ihr prismatisches Bild: prismatisches Spectrum, dem Beobachter als ein farbiges Rechteck, dessen der Lichtquelle zugekehrtes Ende roth, das entgegengesetzte violett ist, dazwischen liegen, in einander übergehend, noch eine Reihe anderer Farben, zunächst am Roth Orange, dann Gelb, Grün, Blau, endlich Violett. Das Ende des Spectrums bildet das sehr lichtschwache Ultraviolett, das erst sichtbar wird, wenn der übrige hellere Theil des Spectrums sorgfältig abgeblendet ist. Seine Farbe ist für die Mehrzahl der Augen bei geringer Lichtintensität indigoblau, bei grösserer bläulichgrau. Am leichtesten kann das Ultraviolett durch das Phänomen der Fluorescenz sichtbar gemacht werden, indem man das ultra-

violette Licht auf fluorescirende Stoffe, wie saures schwefelsaures Chinin, mit Uran gefärbtes Glas, Aesculin, Kaliumplatincyanür etc. fallen lässt. Die ultravioletten Strahlen werden von diesen fluorescirenden Stoffen in gemischtes weisslichblaues Licht von mittlerer Brechbarkeit umgesetzt, für welches das Auge viel empfindlicher ist, als für das ultraviolette Licht selbst. Auf der violetten Seite können wir also das Spectrum, wie es scheint, bis zu seinem Ende wahrnehmen, auch auf der rothen Seite können wir durch vorsichtige Abblendung noch Theile des Spectrums zur Anschauung bringen, welche für gewöhnlich unsichtbar bleiben, doch reicht hier das Spectrum noch weiter als es vom Auge wahrgenommen werden kann, auf die rothen Strahlen folgen unsichtbare Wärmestrahlen. Der Grund ihrer Unsichtbarkeit scheint darin zu beruhen, dass sie von den Augenmedien absorbirt werden. Nach den Versuchen von Cima lässt das Auge nur 9%, nach F. Klug etwa 1/5 (S. 816) der einfallenden Wärme durch. Die geringe Wirkung des ultravioletten Lichtes auf die Netzhaut rührt dagegen von einer geringen Empfindlichkeit der Netzhaut für dasselbe her, da die Beobachtungen erweisen, dass die ultravioletten Strahlen bei dem Durchgang durch die Augenmedien, namentlich durch die Krystalllinse, zwar merklich (Brücke), aber doch nicht bedeutend genug geschwächt werden, um ihre Undeutlichkeit zu erklären. Die Schwächung rührt daher, dass die Hornhaut und die Linse des lebenden Auges, vielleicht auch die Netzhaut selbst einen merklichen Grad von Fluorescenz zeigen, sie strahlen weisslich-blaues Licht aus, wenn ultraviolettes Licht auf sie fällt. Die fluorescirenden Substanzen absorbiren aber die Strahlen theilweise, durch welche ihre Fluorescenz hervorgerufen wird.

Helmholtz gibt folgende Tabelle über die den Fraunhofer'schen Linien entsprechenden Farbentöne und ihre Wellenlängen, letztere ausgedrückt durch Hunderttausendtheile eines Millimeters.

Linie:	Wellenlänge:	Farbe:	Linie:	Wellenlänge:	Farbe:
A.	7617	äusserstes Roth.	L.	3824	Ueberviolett.
B.	6878	Roth.	M.	3741	
C.	6564	Grenze des Roth u. Orange.	N.	3532	
D.	5888	Goldgelb.	O.	3383	
E.	5260	Grün.	P.	3307	
F.	4843	Cyanblau.	Q.	3243	
G.	4291	Grenze des Indigo u. Violett.	R.	3108	
H.	3929	Grenze des Violett.			

Complementärfarben. Mit der Verschiedenheit der Wellenlänge der sichtbaren Lichtstrahlen wechselt die Farbenempfindung; einer bestimmten Wellenlänge des sichtbaren Lichtes entspricht in jedem Auge mit normaler Farbenempfindlichkeit eine bestimmte Farbenempfindung.

Die bekannten Farben des Spectrums nennen wir vorzugsweise einfache Farben. Lassen wir gleichzeitig oder sehr rasch hinter einander zwei verschiedene einfache Farben auf dieselbe Stelle der Netzhaut einwirken, oder auf identische Stellen der beiden Netzhäute (?), so entstehen neue Farbenempfindungen, welche durch die einfachen Spectralfarben nicht hervorgerufen werden, wir bezeichnen sie als Purpur und als Weiss. Purpurroth entsteht durch Mischung der einfachen Farben, die am Ende des Spectrums stehen, am gesättigtsten durch die Mischung von Violett und Roth. Weiss entsteht durch Mischung verschiedener Paare von einfachen Farben. Man benennt die Farben, welche in einem bestimmten Verhältnisse gemischt weiss geben, als complementäre Farben. Es sind complementär: Roth und Blaugrün; Orange und Cyanblau; Gelb und Indigoblau (Ultramarin); Grüngelb und Violett; Grün und Purpur. Zu beachten ist, dass die Lichtintensitäten zweier einfacher Farben,

welche zusammen Weiss geben, dem Auge nicht immer gleich hell erscheinen. Letzteres ist nur bei der Mischung von Cyanblau und Orange der Fall. Violett, Indigoblau und Roth erscheinen dunkler als die complementären Mengen des dazu gehörigen Grüngelb, Gelb oder Grünlichblau.

Nimmt man aus weissem, aus allen Spectralfarben gemischtem Lichte eine Farbe, d. h. die Strahlen einer Wellenlänge weg, so geben alle anderen zusammen das Complement zu dieser wahrgenommenen Farbe. Entzieht man z. B. dem weissen Lichte die ultramarinblauen Strahlen, so erscheint das übrig bleibende Licht gelb. Dieses Gelb ist aber von dem monochromatischen Gelb des Spectrums wesentlich verschieden. Die Farben, welche aus Strahlen nur einer Wellenlänge bestehen: die Spectralfarben, erscheinen, wie in unserem Beispiel das Gelb, im Allgemeinen weit gesättigter als dasjenige Gelb derjenigen Farben, die aus Strahlen verschiedener Wellenlängen gemischt sind, unter denen nur die eine Farbe, z. B. Gelb, dadurch überwiegt, dass ihr das Complement genommen ist. Diese letzteren Farben sind eigentlich Weiss, dem farbige Strahlen zugemischt sind. Die Sättigung der Farbe ist also bei den Spectralfarben am grössten; alle anderen Farben kann man betrachten als aus einer bestimmten Spectralfarbe bestehend, der noch Weiss oder Grau zugemischt ist. Je geringer die Menge des zugemischten neutralen Lichtes (weiss oder grau) ist, desto gesättigter, je grösser die Zumischung, desto weniger gesättigt erscheint die Farbe.

Die Resultate der Mischung solcher Farben, welche nicht complementär sind, fasst Helmholtz in folgende Regel zusammen: Wenn man zwei einfache Farben mischt, welche im Spectrum weniger von einander entfernt sind, als Complementärfarben, so ist die Mischung eine der zwischenliegenden Farben und zieht desto mehr in das Weisse, je grösser der Abstand der gemischten Farben ist, wird dagegen um so gesättigter, je kleiner der Abstand. Mischt man dagegen zwei Farben, die in der Spectralreihe weiter von einander abstehen, als Complementärfarben, so erhält man Purpur oder solche Farben, die zwischen einer der gemischten und dem entsprechenden Ende des Spectrums liegen. Die Mischung ist um so gesättigter, je grösser der Abstand der gemischten Farben im Spectrum ist.

Die Farbenmischungsresultate sind übersichtlich in folgender Tabelle zusammengestellt (Helmholtz). An der Spitze der vertikalen und horizontalen Columnen stehen die einfachen Farben; wo sich die betreffende vertikale und horizontale Columne schneiden, ist die Mischfarbe angegeben, welche übrigens immer bei verändertem Mischungsverhältnisse durch die in der Spectralreihe dazwischen liegenden Farben in jede der beiden einfachen Farben der Mischung übergehen kann.

	Violett	Indigoblau	Cyanblau	Blaugrün	Grün	Grüngelb	Gelb
Roth	Purpur	dk. Rosa	wss. Rosa	Weiss	wss. Gelb	Goldgelb	Orange
Orange	dk. Rosa	wss. Rosa	Weiss	wss. Gelb	Gelb	Gelb	
Gelb	wss. Rosa	Weiss	wss. Grün	wss. Grün	Grüngelb		
Grüngelb	Weiss	wss. Grün	wss. Grün	Grün			
Grün	wss. Blau	Wasserblau	Blaugrün				
Blaugrün	Wasserblau	Wasserblau					
Cyanblau	Indigoblau						

dk. = dunkel.
wss. = weisslich.

Die Methoden der Farbenmischung sind (HELMHOLTZ): 1) Bringt man verschiedene Spectra oder verschiedene Theile eines Spectrums zur Deckung, so erhält man die Zusammensetzung je zweier einfachen Farben. 2) Man blickt durch eine ebene Glastafel in schiefer Richtung nach einer farbigen Fläche, während die dem Beobachter zugekehrte Seite ihm gleichzeitig Licht eines andersfarbigen Objectes durch Reflexion zusendet. So gelangt in das Auge des Beobachters zugleich von der Glastafel durchgelassenes Licht der einen und reflectirtes Licht der anderen Farbe, und beide treffen dieselben Theile der Netzhaut. 3) Man lässt auf dem Farbenkreisel (cf. unten) Scheiben schnell rotiren, auf denen verschiedenfarbige Sectoren angebracht sind. Ist die Rotation schnell genug, so verbinden sich die Eindrücke, welche die verschiedenen Farben auf die Netzhaut machen, zur Empfindung einer einzigen Farbe, der Mischfarbe. CZERMAK schlug den modificirten SCHEINER'schen Versuch zu demselben Zwecke vor. Nicht angewendet werden darf die Methode der Mischung pulveriger oder flüssiger Pigmente, da wegen der hierbei eintretenden Absorption einzelner Farben der gemischte Farbstoff keineswegs ein Licht gibt, welches die Summe der von den einzelnen in der Mischung enthaltenen Farbstoffen reflectirten Lichter ist.

Die Grundfarben. Durch Mischung dreier einfacher Farben erhalten wir die ganze Zahl der möglichen Farbenunterschiede, so dass wir durch Mischung von mehr als drei homogenen Farben nun keine neuen Farben mehr erhalten. Die Zahl der möglichen als Farbenempfindungen auftretenden Erregungszustände des Sehnervenapparates ist sonach eine beschränkte und verhältnissmässig geringe.

Der Sprachgebrauch bezeichnet jedoch auch noch Unterschiede in der Lichtstärke als Arten von Farben. Mangel an Licht wird als Dunkelheit bezeichnet; als schwarz bezeichnen wir Körper, welche das auffallende Licht nicht reflectiren, andere, welche alles auffallende Licht diffus reflectiren, nennen wir weiss. Körper, die von allem auffallenden Lichte einen gleichen geringen Antheil reflectiren, heissen grau, solche, welche das Licht gewisser Farben stärker als anderes reflectiren, farbig. Lichtschwache gesättigte Farben werden durch den Beisatz »dunkel« unterschieden, z. B. dunkelroth; bei äusserst geringer Lichtstärke nennen wir Roth Rothbraun, Gelb Braun, Grün Olivengrün. Sind die Farben bei geringer Lichtstärke überwiegend weisslich, so bezeichnet man sie durch Zusammensetzung mit grau: röthlichgrau, gelbgrau, blaugrau etc.

Das Schwarz ist, obwohl es durch Abwesenheit des Lichtes hervorgebracht wird, eine wahre Empfindung, die wir deutlich von dem Mangel aller Empfindung, wie er z. B. den Objecten hinter unserem Rücken entspricht, unterscheiden.

Jede Mischfarbe kann hergestellt werden durch Mischung einer gewissen Quantität weissen Lichtes mit einer gewissen Quantität einer gesättigten Farbe (Spectralfarbe oder Purpur) von bestimmtem Farbentone. Die Qualität eines jeden Farbeneindrucks ist objectiv von drei veränderlichen Grössen abhängig, von der Lichtstärke, dem Farbenton, und dem Sättigungsgrade, oder mit anderen Worten 1) von der Quantität und 2) von der Wellenlänge einer Spectralfarbe und 3) von der zugemischten Quantität Weiss.

Das Gesetz unserer subjectiven Farbenempfindung scheint von diesem objectiven Gesetze verschieden zu sein. Man hat in früherer Zeit vielfältig versucht, alle Farben als Mischungen von veränderlichen Quantitäten dreier Farben, der sogenannten Grundfarben, zu betrachten. Wenn wir

diesen Grundfarben auch keine objective Bedeutung zuerkennen können, so scheint es doch möglich, die subjectiven **Farbenempfindungen** auf drei **Grundfarbenempfindungen** zurückzuführen. Diese Hypothese wurde von Thomas Joung im Anfang dieses Jahrhunderts aufgestellt und von Helmholtz und neuerdings von Brücke, Max Schultze u. A. acceptirt und dadurch in der Physiologie zur Geltung gebracht. Helmholtz stellt die Th. Joung'sche Annahme folgendermassen dar:

1) Es gibt im Auge drei Arten von Nervenfasern. Reizung der ersten erregt die Empfindung des Roth, Reizung der zweiten die Empfindung des Grün, Reizung der dritten die Empfindung des Violett.

2) Objectives homogenes Licht erregt diese drei Arten von Fasern je nach seiner Wellenlänge in verschiedener Stärke. Die rothempfindenden Fasern werden am stärksten erregt von dem Lichte grösster Wellenlänge, die grünempfindenden von dem Lichte mittlerer Wellenlänge, die violettempfindenden von dem Lichte kleinster Wellenlänge. Indess ist dabei nicht ausgeschlossen, muss vielmehr zur Erklärung einer Reihe von Erscheinungen angenommen werden, dass jede Spectralfarbe alle Fasern erregt, aber die einen schwach, die anderen stark. Das einfache Roth erregt stark die rothempfindenden, schwach die beiden anderen Faserarten; Empfindung: roth. Das einfache Gelb erregt mässig stark die roth- und grünempfindenden, schwach die violetten: Empfindung: gelb. Das einfache Grün erregt stark die grünempfindenden, viel schwächer die beiden anderen Arten; Empfindung: grün. Das einfache Blau erregt mässig stark die grün- und violettempfindenden, schwach die rothen; Empfindung: blau. Das einfache Violett erregt stark die gleichnamigen, schwach die anderen Fasern; Empfindung: violett. Erregung aller Fasern in ziemlich gleicher Stärke gibt die Empfindung von Weiss oder von weisslichen Farben.

Eine frühere Zeit, welche den Erregungsvorgang in den Nerven aus Schwingungen eines Nervenäthers zu erklären suchte, konnte daran denken, dass die Schwingungen des Lichtäthers sich vielleicht direct in Schwingungen des Nervenäthers umsetzten. Es schien nichts im Wege zu stehen, den verschiedenen Wellenlängen des Lichtäthers entsprechend auch die dadurch erregten Schwingungen des Nervenäthers sich von verschiedener Wellenlänge vorzustellen. Jede Opticusfaser wäre dann im Stande, alle verschiedenen Farbeneindrücke zu leiten, jeder Farbe würde ein eigener, specifischer Erregungszustand der Faser entsprechen. Diese Annahme steht in directem Widerspruch mit der Grundhypothese der specifischen Energien: dass der Erregungszustand im Nerven stets ein und derselbe sei, und dass der Unterschied in der Nerventhätigkeit bedingt werde durch die Verschiedenheit der normalen Reizorgane der Nerven, welche nur durch bestimmte Reize angesprochen werden können, und durch die Verschiedenheit der Erfolgsorgane der Nerven, welche auf den ihnen von ihren Nerven zugeleiteten Reizzustand, mag er nun durch die normale Erregung der Reizorgane, oder durch directe anderweitige Reizung des Nerven hervorgerufen sein, immer nur mit einem zu dem Kreise ihrer specifischen Energie gehörigen Erfolge antworten. Dieses Princip wird gewahrt, wenn wir für jede specifische Farbenempfindung eigene Reiz- und Erfolgsorgane in dem Sehsinnapparate annehmen. Die Th. Young'sche Hypothese sucht die nothwendige Zahl der verschiedenen Reiz- und Erfolgsorgane auf die drei genannten zu beschränken.

Man sucht die Hypothese zu stützen zunächst mit den Beobachtungen über **Farbenblindheit, Daltonismus**. Wenn die Farbenempfindungen eines für Farben normal empfindlichen Auges auf drei Grundfarbenempfindungen zurückgeführt werden können, so kommen Augen vor, deren Farbenempfindungen nur aus zwei Grundfarbenempfindungen zusammengesetzt erscheinen. Es kommen farbenblinde Augen zur Beobachtung, welchen bei Betrachtung des

Spectrums die Farbenempfindung des rothen Endes desselben fehlt: Rothblindheit; in sehr seltenen Fällen beobachtete man ein Fehlen des violetten Endes des Spectrums: Violettblindheit; am häufigsten ist die Grünblindheit. Bei grünblinden Augen bewirken diejenigen Lichtwellen, welche in den normalen Augen die Grünempfindung hervorrufen, nur eine Helligkeits-, aber keine Farbenempfindung. O. Becker beobachtete einen Fall von angeborener, einseitiger totaler Farbenblindheit; die Lichtempfindung des farbenblinden (linken) Auges war nur wenig geringer als die des in seinem Farbensinn auf das Feinste ausgebildeten rechten. (O. Becker macht hiebei darauf aufmerksam, dass sich das räthselhafte Ueberspringen einer Generation bei Vererbung von Farbenblindheit vielleicht durch derartige zwischengeschobene einseitige und daher unbemerkt bleibende Farbenblindheit der scheinbar übersprungenen Generation handeln möge.) Am längsten bekannt ist die sogenannte Rothblindheit (Dalton). Ausgeprägt rothblinde Augen sehen im Spectrum nur zwei Farben, die meist als Blau und Gelb bezeichnet werden. Als Gelb erscheint Roth, Orange, Gelb und Grün, die grünblauen Töne werden als Grau, der Rest der Spectralfarben als Blau bezeichnet. Solche Augen verwechseln Zinnoberroth mit Braun und Grün, Goldgelb mit Gelb, Rosaroth mit Blau. Bei Versuchen, welche Helmholtz mit dem Farbenkreisel an einem Rothblinden anstellte, erschien Zinnoberroth identisch mit einer Mischung von 35° Gelb mit 325° Schwarz, die für das normale Auge Dunkelolivengrün gab. Mit Grün (Linie E) identisch eine Mischung von 327° Gelb, 33° Blau, für das normale Auge Graugelb. Mit Grau identisch 165° Gelb und 195° Blau, für das normale Auge schwach röthlich grau. Da man aus Roth, Gelb, Grün, Blau alle beliebigen Farbentöne mischen kann, so ergibt der Versuch, dass bei dem untersuchten Auge alle aus Gelb und Blau gemischt werden konnten. Grünblinde urtheilen sicher über die Uebergänge zwischen Violett und Roth, verwechseln aber Grün, Gelb, Blau und Roth, auch sie unterscheiden nur zwei Farbentöne im Spectrum, welche sie wahrscheinlich ziemlich richtig Blau (resp. Violett, Preyer) und Roth nennen. Es kommen alle möglichen Abstufungen von normaler Farbenempfindlichkeit durch verminderte Empfindlichkeit bis zur gänzlichen Unempfindlichkeit vor. Hier und da war die Farbenblindheit nicht angeboren, sondern sie trat plötzlich ein nach schweren Kopfverletzungen und Anstrengungen des Auges. G. Wilson fand im Durchschnitt einen relativ Farbenblinden unter 17,7 Personen. Er u. A. machen auf die Gefahren aufmerksam, welche aus der Farbenblindheit hervorgehen können, bei der Unfähigkeit, farbige Signale zu erkennen, wie sie auf Schiffen und Eisenbahnen üblich sind.

Die Fähigkeit, Farben wahrzunehmen, ist für jedes Auge eine begrenzte, die verschiedenen Netzhautabschnitte zeigen darin deutliche Verschiedenheiten. Um eine Farbe wahrnehmen zu können, muss dieselbe ein Feld von gewisser Ausdehnung bedecken, oder es muss wenigstens eine bestimmte Menge farbigen Lichtes auf die Netzhaut gelangen, die Grösse des farbigen Feldes muss bei der Betrachtung mit den Seitentheilen der Netzhaut mehr und mehr zunehmen. Ist das farbige Licht für die Farbenwahrnehmungen zu klein, so erscheint es auf hellerem Grunde Grau oder Schwarz, auf dunklerem Grunde Grau oder Weiss. Ist die Menge des ausgesendeten Lichtes sehr gross, wie z. B. bei den farbigen Fixsternen, so können wir auch die Farbe unendlich kleiner Farbenfelder noch unterscheiden. Auf schwarzem Grunde erschienen Aubert grüne und gelbe Quadrate von 1 mm Seite, in einer Entfernung von 16 Fuss, als graue Punkte, rothe schon bei 12 Fuss. Blau behielt unter diesen Umständen seine Farbe bis an die Grenze der Sichtbarkeit. Vor dem Verschwinden wird Roth und Grün deutlich gelb, Blau scheint direct ohne Farbenänderung in Grauweiss überzugehen. In den Mischungen aus Blau und Roth überwiegt an den Grenzen des Gesichtsfeldes und der Netzhaut das Blau, Weiss erscheint Grünblau, Purpur rein blau. Roth, Orange, Gelb und Grün als gelblich (Holmgreen). Daraus ergibt sich, dass die Netzhaut am Rande gegen blaues und grünes Licht empfindlicher ist als gegen rothes, ihre Farbenempfindlichkeit nähert sich dort einigermassen der bei Rothblindheit. In der äussersten Peripherie fehlt die Farbenempfindung ganz, alle Farben werden nur grau gesehen (Holmgreen), was mit dem Fehlen der Zapfen an der Peripherie zusammentrifft.

Intensität und Dauer der Lichtempfindung.

Die Intensität der Lichtempfindung ist keine einfache Function der Intensität des objectiven Lichtes, welches die Retina reizt: sie wächst im Allgemeinen für gleichartiges Licht nicht einfach proportional der objectiven Lichtstärke. Nach Fechner steigt die subjective Empfindung der Helligkeit in arithmetischer Progression, wenn die objective Helligkeit in geometrischer Progression wächst. Wie jeder Nervenreiz eine gewisse Stärke erreichen und überschreiten muss, um eine Nervenerregung hervorzurufen, so existirt auch für die Erregung der Retinalelemente eine untere Reizschwelle oder unterer Schwellenwerth (Fechner), eine bestimmte Höhe, welche der objective Lichtreiz erreichen und überschreiten muss, damit überhaupt eine Lichtempfindung entsteht. Die Reizschwelle liegt für Roth am höchsten und scheint von da gegen das Ende des Spectrums ziemlich continuirlich abzufallen. Auch sonst entsprechen die kleinsten noch wahrnehmbaren Abstufungen der Lichtempfindung nicht gleichen Differenzen der objectiven Helligkeit. Bei schwacher Beleuchtung kann man noch Helligkeitsdifferenzen wahrnehmen, die bei stärkerer Beleuchtung verschwinden. Ein Licht von der Stärke des Mondlichtes wirft einen wahrnehmbaren Schatten auf eine weisse Fläche, der Schatten kann aber nicht mehr wahrgenommen werden, er verschwindet bei der gleichzeitigen Beleuchtung der Fläche mit einer gutbrennenden Lampe, und auch der Lampenschatten selbst verschwindet, wenn man die Fläche von der Sonne bescheinen lässt.

Innerhalb gewisser mittlerer Grade der Lichtstärke ist das Auge für eine Veränderung der Helligkeit am empfindlichsten, und zwar zeigt sich innerhalb dieser Grenzen eine ziemliche Constanz für die Grösse der Empfindlichkeit, für welche nach E. H. Weber bei allen Sinnen als Maass der kleinste durch die Empfindung noch wahrnehmbare Empfindungszuwachs dient; letztere ist im Allgemeinen der Grösse des schon vorhandenen Reizzustandes proportional, je grösser dieser Reizzustand im Augenblick schon ist, um so mehr muss der Reiz verstärkt werden, um noch einen Empfindungszuwachs zu veranlassen. Die Grenzen der höchsten Empfindlichkeit des Auges beginnen etwa bei der Helligkeit, bei welcher man ohne Schwierigkeit lesen kann, und reichen bis zur Helligkeit einer von directem Sonnenlicht getroffenen weissen Fläche. Die photometrischen Messungen haben ergeben, dass in Wahrheit innerhalb dieser Grenzen die Differenzen der Helligkeit, welche noch unterschieden werden konnten, nahezu den gleichen Bruchtheil der ganzen Helligkeit bildeten, etwa $\frac{1}{100}$ (Fechner's psychophysisches Gesetz).

Zur Bestimmung dieser Differenz beleuchtete Fechner eine weisse Tafel mit zwei gleichen Kerzenflammen, vor der Tafel stand ein Stab, der nun zwei Schatten auf dieselbe warf. Das eine Licht wurde dann soweit abgerückt, bis der entsprechende Schatten aufhörte sichtbar zu sein. Ist a der Abstand des näheren Lichtes von der Tafel, b der Abstand des entfernteren, so verhält sich die Beleuchtungsstärke der Tafel durch beide Lichter etwa wie $a^2 : b^2$. Bouger fand das eine Licht etwa 8mal, Fechner, dass es etwa 10mal so weit als das andere entfernt sein müsse, damit der Schatten verschwinde, so dass Bouger also $\frac{1}{64}$ der Lichtstärke, Fechner dagegen $\frac{1}{100}$ noch unterscheiden konnte. Bei Bewegung des Lichtes konnte Arago noch Unter-

schiede bis zu $\frac{1}{131}$ beobachten, bei schwachem Gesicht sind die Unterschiede oft nur $\frac{1}{50}$. Oberhalb und unterhalb der oben angegebenen Grenzen gelten die angegebenen Werthe nicht. Bei sehr schwacher Beleuchtung mischt sich nach Fechner das »Eigenlicht der Netzhaut« störend ein, bei sehr grellem Lichte beginnt das Organ zu leiden.

Namentlich auf die Thatsache, dass innerhalb weiter Grenzen die kleinsten wahrnehmbaren Differenzen der Lichtempfindung konstanten Bruchtheilen der Helligkeit entsprechen, hat Fechner sein psychophysisches Gesetz: die Empfindung nimmt proportional dem Logarithmus der Reizgrösse zu, gegründet, welches sich auch in anderen Gebieten der Sinnesempfindung, z. B. bei Bestimmung der noch wahrnehmbaren Differenzen der Tonhöhe, oder der Differenzen zwischen Gewichten bestätigt. Die Empfindungsstärke wird gemessen, indem wir gleich deutlich wahrnehmbare Unterschiede dE der Empfindungsstärke E als gleichgross ansehen. Dann ist innerhalb weiter Grenzen der Helligkeit H nahehin: $dE = A\frac{dH}{H}$, wo A eine Konstante ist; durch Integration bekommen wir: $E = A \log H + C$, wo C eine zweite Konstante ist. Nach Helmholtz ist die Annahme, dass A konstant ist, doch nur annähernd richtig.

Das Unterscheidungsvermögen für Farbentöne ist ebenfalls bei mittleren Lichtintensitäten am feinsten, sowohl bei sehr geringer als bei sehr grosser Lichtintensität ist die Farbenempfindlichkeit der Netzhaut geringer. Purkinje bemerkte, dass Blau bei schwächstem Lichte gesehen wird, Roth erst bei stärkerem, nach der Fechner'schen Bezeichnung liegt die Reizschwelle für Roth höher als die für Blau. Bei abnehmender Beleuchtung ändern die betrachteten Pigmente (Aubert) zunächst Farbenton und Farbennüance, Zinnober wird dunkelbraun, Orange dunkel und rein roth, Grün und Hellblau sehen ganz gleich aus. Dann schwindet die Empfindung der Farbe gänzlich und es bleibt nur das Gefühl der Lichtdifferenzen übrig. Bei steigender Lichtstärke verändert sich der Eindruck der einfachen Farben in der Weise, dass sie sich gleichsam mit Gelb zu mischen scheinen. Roth und Grün gehen direct in Gelb über, Blau wird, wie es auch bei Zumischung von Gelb der Fall sein würde, weisslich. In Beziehung auf die Helligkeit behaupten im Allgemeinen bei grosser Beleuchtungsstärke die weniger brechbaren rothen und gelben Farben, bei geringer Beleuchtungsstärke die brechbaren blauen und violetten Farben das Uebergewicht. Daher rührt bei sonniger Beleuchtung der goldige, rothgelbe Glanz der Landschaft, welche sich an trüben Tagen in graublaue Farben hüllt. Bei Einbruch der Nacht erscheinen rothe und blaue Farben, welche bei Tageslicht gleich hell ausgesehen haben, ungleich hell, und zwar erscheint das Roth schon ganz schwarz, wenn das Blau (auch des Himmels) noch deutlich erscheint. Aus dem oben über die Farbenwahrnehmung Gesagten ergibt sich, dass die Farbenunterscheidung abnimmt mit der Grösse der verglichenen farbigen Felder im Gesichtsfelde (Helmholtz).

Die Farbe des Tageslichtes. — Die relative Unempfindlichkeit unserer Netzhaut gegen Roth scheint z. Thl. daher zu rühren, dass das Tageslicht nicht wirklich weiss ist, sondern dass, wie die Experimente nachweisen, in ihm die rothen Strahlen überwiegen. Wir bemerken diese Färbung nicht, unsere Netzhaut wird daher durch die fortgesetzte schwache Reizung der rothempfindenden Elemente gegen Roth etwas abgestumpft, das Gleiche in noch höherem Grade bewirkt die Rothfärbung der Retina durch Sehpurpur, so wie wir bei längerem Gebrauch einer schwachblauen Brille die dadurch veränderte Färbung der Sehobjecte nicht mehr bemerken. Die Beleuchtung durch Gas, Kerzenlicht, Oel oder Petroleum erscheint uns bald weiss, wenn wir das Licht nicht mit wirklich weissem vergleichen können, obwohl

ihr Licht in Wahrheit von gelboranger Farbe ist. Wirklich weiss ist nur das electrische Licht der Kohlenspitzen. Das electrische Licht hebt nicht nur die Sehschärfe in allen Fällen gegenüber dem Tageslicht, er bessert auch fast immer den Farbensinn gegenüber dem Tageslicht und zwar die Empfindung für alle Farben in etwas (aber wenig) verschiedenem Grade (H. Cohn). Magnesiumlicht ist blassviolett (Brücke, Memorsky). Auch das diffuse, durch die Sclerotica einfallende Licht ist roth; indem es trübe Medien durchsetzt, verliert es vorzugsweise die kurzwelligen Strahlen, welche auch noch durch das Retinalpigment und den Blutfarbstoff der zahlreichen Blutgefässe auf diesem Wege weiter absorbirt werden. Hier ist nochmals an den Einfluss des Retinalpigments und der Netzhautkapillaren zu erinnern, nach welchem das Roth des Tageslichtes vorwiegend als ein subjectives Phänomen erscheint. Auch an die Färbung des gelben Flecks und ihre Folgen für die Farbenempfindung muss hier wieder erinnert werden (a. a. O.).

Irradiation. — Die Erscheinungen, welche man unter diesem Namen zusammenfasst, erklären sich nach Helmholtz daraus, dass die Empfindungsstärke der Lichtstärke nicht proportional ist. Diese Erscheinungen zeigen das Gemeinsame, dass helle, starkbeleuchtete Flächen grösser erscheinen als sie wirklich sind, umgekehrt benachbarte dunkle Flächen um ebensoviel kleiner.

Fig. 222.

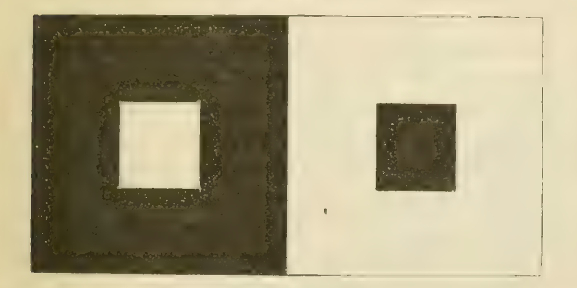
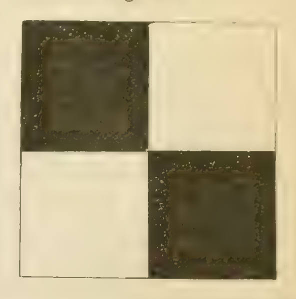


Fig. 223.



Am deutlichsten werden die Erscheinungen der Irradiation, wenn das Auge für den betrachteten Gegenstand nicht genau accommodirt ist, doch fehlen sie auch bei schärfster Accommodation nicht ganz. Enge Löcher und Spalten, durch welche Licht einfällt, halten wir stets für grösser als sie wirklich sind. Von zwei gleichgrossen Quadraten, von denen das eine schwarz auf weissem Grund, das andere weiss auf schwarzem Grunde liegt, erscheint bei mangelhafter Accommodation das weisse deutlich grösser als das schwarze (Fig. 222). Naheliegende helle Flächen fliessen zusammen; so verschwindet ein feiner Draht, den man zwischen Auge und Sonnenscheibe oder eine helle Flamme hält; bei Schachbrettmustern, abwechselnd aus weissen und schwarzen Quadraten zusammengesetzt, fliessen die weissen Quadrate an den Ecken, mit denen sie an einanderstossen, zusammen, scheinen also die schwarzen zu trennen (Plateau) (Fig. 223). Hierher gehört die Beobachtung Volkmann's, dass schwarze Fäden auf weissem Grunde ebenso wie weisse auf dunklem Grund breiter erscheinen, als sie wirklich sind. In neuerer Zeit hat man den Namen Irradiation in einigen Fällen auf die Bildung von Zerstreuungskreisen überhaupt übertragen.

Intermittirende Netzhautreize. Wie bei der Nervenreizung überhaupt, so entsteht und verschwindet der Reizzustand der Netzhaut auch nicht gleichzeitig mit dem Hereinbrechen und Verschwinden des Reizes. Es ist leicht nachzuweisen, dass der Erregungszustand der Netzhaut noch fortdauert, wenn das Licht schon aufgehört hat, einzuwirken. Jeder Gesichtseindruck hinterlässt

eine kurze Zeit ein subjectives Nachbild. Hinreichend schnell wiederholte Lichteindrücke derselben Art üben dieselbe Wirkung auf das Auge aus, wie eine kontinuirliche Beleuchtung; eine im Kreise geschwungene Kohle ruft den Eindruck eines leuchtenden Kreises hervor. Die Wiederholung des Eindrucks auf die Retina muss so rasch geschehen, dass die Nachwirkung des vorausgegangenen Eindrucks noch nicht merklich nachgelassen hat, wenn der folgende beginnt. Eine rasch rotirende schwarze Scheibe, auf welcher an einer Stelle ein weisser Punkt angebracht ist, zeigt anstatt des Punktes einen grauen gleichmässig über die Scheibenfläche verbreiteten Ring, ganz entsprechend dem Feuerring der geschwungenen Kohle. Eine rasch rotirende Scheibe wird zum Farbenkreisel, wenn sie in Sektoren von verschiedener Farbe getheilt ist. Die Farbeneindrücke folgen sich so rasch, dass der vorausgehende noch nicht verschwunden ist, wenn der folgende einwirkt, dadurch tritt eine Mischung der Farben ein, welche dieselben Resultate liefert wie die Mischung der Spectralfarben. Das Thaumatrop und analoge auf dieses Verhalten der Netzhaut gebaute Instrumente sind aus der Physik und der Kinderstube bekannt.

Die Netzhauterregung kommt in äusserst kurzer Zeit zu Stande, es genügt dazu die Dauer eines electrischen Funkens.

Netzhautermüdung. Nach der Einwirkung des Lichtes bleibt der Sehnervenapparat in einem veränderten Zustande zurück. Es dauert der Reizungszustand noch einige Zeit fort, und die gereizte Netzhautstelle zeigt eine veränderte Empfänglichkeit gegen äussere Reize; sie empfindet von aussen einfallendes Licht in anderer und zwar schwächerer Weise als es die vorher nicht afficirten, geruhten Theile der Netzhaut thun, die Empfänglichkeit für neue Reize ist vermindert. Jede genügend starke Lichtreizung hinterlässt ein **Nachbild.** Man nimmt die Nachbilder am leichtesten wahr, wenn man nach Betrachtung heller Gegenstände das Auge schliesst oder auf ein ganz dunkles Gesichtsfeld richtet. Man unterscheidet analog dem Sprachgebrauch der Photographen positive und negative Nachbilder; bei den ersteren erscheinen die hellen Partien des Objectes hell, die dunkeln dunkel, bei den negativen Nachbildern erscheinen dagegen die hellen Objectpartien dunkel, die dunklen hell. Die Dauer der Nachwirkung der Reizung, also auch die Dauer der Nachbilder ist um so grösser, je stärker das einwirkende Licht gewesen ist und je weniger ermüdet das Auge. Helle Objecte, welche man kurz angeblickt hat, geben positive Nachbilder, deren Helligkeit am grössten ist, wenn die Bestrahlung etwa $^1/_3$ Secunde gedauert hat, bei längerer Bestrahlung nimmt die Stärke des Nachbildes wieder rasch ab. Das positive Nachbild ist um so heller und andauernder, je grösser die Intensität des einwirkenden Lichtes ist. Hat die Lichtreizung nur sehr kurze Zeit gewährt, und war sie nicht blendend, so verschwindet, wenn man das Gesichtsfeld fortgesetzt dunkel erhält, das positive Nachbild, ohne in ein negatives überzugehen. Blickt man aber während des Bestehens des positiven Nachbildes gegen eine beleuchtete Fläche, so verwandelt sich das positive Nachbild sofort in das negative. Die in der Nachwirkung des Erregungszustandes befindlichen Partien des Sehnervenapparates werden sonach durch eine neu einwirkende Reizung schwächer erregt, sie empfinden die Beleuchtungsstärke noch nicht oder nur schwach, welche die übrigen Netzhautpartien schon als deut-

lichen Lichtreiz auffassen können. Der Reizzustand lässt also die Netzhaut in einer Ermüdung zurück. Während der Dauer der Ermüdung ist die Empfindung neu einfallenden Lichtes in der Weise beeinträchtigt, als wäre die objective Intensität dieses Lichtes um einen bestimmten Bruchtheil ihrer Grösse vermindert.

Die Dauer der Netzhautermüdung, und damit des negativen Nachbildes, wächst mit der Dauer der Bestrahlung; übermässig gesteigerte Bestrahlung, z. B. 10—20 Minuten langes Blicken in die Sonne (Ritter), bringen bleibende Veränderungen der betreffenden Netzhautstelle. Die Ermüdung tritt am Ort des directen Sehens langsamer ein, als an den peripherischen Netzhauttheilen (Aubert). Des Morgens direct nach dem Erwachen ist der Einfluss der Ermüdung relativ am bedeutendsten (Fick und C. F. Müller), während des ganzen Tages soll ein Ermüdungsverlust der Netzhauterregbarkeit von etwa 51% eintreten, in den ersten 7 Secunden beträgt der Verlust schon 7%, später wächst er weit langsamer. Aeusseres Licht von konstanter Stärke, welches längere Zeit ununterbrochen auf die Netzhaut einwirkt, ruft wegen der eintretenden Ermüdung eine immer schwächer und schwächer werdende Erregung der Netzhaut hervor.

Auch von farbigen Objecten entstehen entweder positive oder negative Nachbilder. Das positive Bild zeigt sich im Anfang und während seiner grössten Helligkeit gleich gefärbt wie das Object, das negative Bild ist bei vollständiger Entwickelung complementär zu der Farbe des Objectes gefärbt.

Die positiven **farbigen Nachbilder** sind am deutlichsten (Helmholtz) nach momentaner Wirkung des Lichteindrucks, vor ihrem Verschwinden wird über sie ein rosenrother Schein ausgegossen, dann treten schwach gefärbte gelblichgraue Farbentöne auf, worauf das Nachbild entweder verschwindet oder in das negative Nachbild übergeht. Negative Nachbilder werden nach längerer Lichteinwirkung deutlicher. Das negative Nachbild von Roth ist blaugrün, von Gelb blau, von Grün rosaroth und umgekehrt. Auch hier ist das Auftreten des negativen Bildes eine Ermüdungserscheinung. Hat das Auge roth gesehen, so sind nach der Th. Young'schen Hypothese die rothempfindenden Fasern stark gereizt und im Zustande starker Ermüdung, während die grün- und violettempfindenden schwach gereizt und wenig ermüdet sind. Von weissem Lichte werden bei diesem Zustande der Netzhaut die noch erregbareren grün- und violettempfindenden Organe stärker erregt als die ermüdeten, darum weniger erregbaren rothempfindenden, weisses Licht wird also den Eindruck des Blaugrünen, welches mit Roth Weiss gibt, hervorrufen. Betrachtet man negative Nachbilder farbiger Objecte auf farbigem Grund, so verschwinden aus der Farbe des Grundes hauptsächlich diejenigen Bestandtheile, welche den durch das Betrachten des farbigen Objectes ermüdeten Farbenperceptionsorganen entsprechen. Das Nachbild eines grünen Objectes erscheint auf gelbem Grunde rothgelb, auf blauem Grunde violett. Wenn die Empfindung des Gelb vorwiegend aus der Empfindung von Roth und Grün, die Empfindung des Blau aus der von Grün und Violett zusammengesetzt ist, so wird, wenn die Empfindung des Grün durch Ermüdung vermindert wird, die Empfindung des Gelb sich vorwiegend der des Roth, die Empfindung des Blau sich der des Violett nähern. Auch hier, wie bei allen auch den noch unten zu beschreibenden Farbenempfindungen, macht sich bei den Versuchen im Tageslicht die rothe Farbe desselben, combinirt mit der rothen Eigenfarbe der Netzhaut, in den Resultaten bemerklich.

Nach längerer Einwirkung weissen Lichtes zeigt sich die Ermüdung des farbenpercipirenden Organs darin, dass das Weiss farbig erscheint. Fechner sah eine weisse Fläche bei eintretender Ermüdung des Auges zuerst gelb, dann blaugrau oder blau, dann rothviolett oder roth. Diese Beobachtung spricht im

Zusammenhalt mit der Farbenempfindungstheorie für eine ungleiche Ermüdungsfähigkeit der farbenpercipirenden Organe. Dieselbe Erscheinung macht sich geltend in den farbigen Nachbildern weisser Objecte, deren mannigfach wechselnde Folge man als farbiges Abklingen der Nachbilder bezeichnet.

Das Weiss verändert sich auf dunklem Felde nach momentaner Anschauung zuerst schnell in grünliches Blau, dann in Indigoblau, Violett und Rosenroth und graues Orange, womit die Erscheinung meist verschwindet. Nach längerer Einwirkung des weissen Lichtes folgen sich auf dunklem Grunde: Weiss, Blau, Grün, Roth; auf weissem Grunde schliesslich noch Blaugrün und Gelb (Fechner, Helmholtz). Nach dem Anblick blendenden Lichtes, z. B. der Sonne, schreitet das Abklingen der Farben von dem Rande gegen die Mitte zu vor. Entsprechend der vom Centrum gegen die Peripherie der Netzhaut hin allmählig abnehmenden Lichtwirkung, sind die mittleren Netzhauttheile stärker gereizt, und die einzelnen Phasen des Abklingens verlaufen im Ganzen um so langsamer, je intensiver die Reizung war. Haben wir farbige Objecte momentan betrachtet, so verschwindet im positiven Nachbild zuerst der Eindruck der vorherrschenden Farbe des Objectes, das Nachbild und das weitere Abklingen der Farben wird dann den analogen Erscheinungen bei weissen Objecten ähnlich, namentlich tritt meist die dem Abklingen des weissen Lichtes zugehörige rosenrothe Farbe des Nachbildes deutlich auf. Grün gibt direct ein rosarothes Nachbild, das dem des abklingenden Weiss entspricht. Grünliches Blau geht durch Blau und Violett in Rosenroth über, Blau durch Violett.

Kontrast. — Auf der Bildung von negativen oder positiven Nachbildern beruht auch ein grosser Antheil derjenigen Erscheinungen, welche man unter der Bezeichnung Kontrast zusammenfasst. Nicht nur die nach einander, sondern auch die im Gesichtsfelde neben einander gleichzeitig gesehenen Farben und Helligkeiten üben in der Farbenempfindung einen Einfluss auf einander aus. Im Allgemeinen erscheint jeder Theil des Gesichtsfeldes neben einem helleren dunkler, neben einem dunkleren heller, und eine Farbe, neben einer anderen gesehen, nähert sich mehr oder weniger der Kontrastfarbe der letzteren an. Chevreul unterschied zuerst unter dem Namen simultaner Kontrast diese Erscheinungen von denen des successiven Kontrastes, wo, wie wir oben betrachteten, zwei Farben nach einander auf derselben Netzhautstelle erscheinen. Helmholtz macht darauf aufmerksam, dass der successive Kontrast, der durch Nachbilder erzeugt wird, auch dann eine grosse Rolle spielt, wenn man farbige Felder, die neben einander im Gesichtsfelde stehen, mit einander vergleicht, da wir bei bequemem Gebrauche unserer Augen den Fixationspunkt nicht unverrückt festhalten, sondern unwillkürlich beständig langsam über die verschiedenen Theile des betrachteten Objectes hinwandern lassen. Eine nur 10—20 Secunden andauernde Fixation greift das Auge sehr bedeutend an, es entwickeln sich scharf gezeichnete negative Nachbilder der gesehenen Objecte, die, so lange die Fixation fortgesetzt wird, mit den Objecten zusammenfallen und diese deshalb schnell undeutlich werden lassen. Nur wenn für einen Ausschluss der Nachbilder gesorgt ist, erhalten wir die Erscheinungen des simultanen Kontrastes rein, in Folge dessen wir im Allgemeinen die zwischen den neben einander stehenden, allein eine genauere Vergleichung zulassenden Farben oder Helligkeiten bestehenden Unterschiede zu überschätzen geneigt sind. Je näher die Farben- oder Lichtunterschiede neben einander stehen, desto schärfer gelingt daher ihre Unterscheidung. Unter den Kontrastwirkungen haben am frühesten und stärksten die sogenannten farbigen Schatten die Aufmerksamkeit auf sich gezogen. Lässt man z. B. ein horizontal liegendes Blatt weisses Papier von entgegengesetzten Seiten her gleichzeitig mit abgeschwächtem Tageslicht, z. B. Licht von stark bewölktem Himmel oder Mondlicht und mit Kerzenlicht, beleuchten und stellt auf das Papier einen Stab (Bleistift, Finger), so wirft derselbe nun zwei Schatten. Der Schatten des Tageslichtes erscheint beleuchtet von dem rothgelben Kerzenlichte, in seiner objectiven Farbe Rothgelb, der Schatten des Kerzenlichtes wird von dem weissen Tageslichte beleuchtet, er ist ob-

jectiv also weiss, erscheint aber blau, komplementär zu der Farbe des untergestellten Papiers, welche ein weissliches Rothgelb ist, da es gleichzeitig von weissem und rothgelbem Lichte beschienen wird (Abbé Mazeas). Leonardo da Vinci waren die Kontrasterscheinungen grossentheils bekannt. Er spricht ihr oben angedeutetes Gesetz in der Weise aus, dass unter allen Farben von gleicher Vollkommenheit jene die schönsten seien, welche neben den entgegengesetzten stehen, also Weiss neben Schwarz, Blau neben Gelb, Roth neben Grün. Setzt man im Allgemeinen die Kontrastfarben nebeneinander, so erhöhen sie gegenseitig ihren Eindruck, sie geben also die glänzendsten Farbenzusammenstellungen.

Subjective Erscheinungen

wurden schon oben S. 856 mehrfach erwähnt und beschrieben, z. B. das Sichtbarwerden des gelben Flecks und der Netzhautgrube. Letztere zeichnet sich bei blauer Beleuchtung als Ring ab: Lowe'scher Ring, er entspricht dem mittleren intensiv gefärbten Theil des gelben Flecks, und es scheint das gelbe Pigment direct seine Entstehung zu veranlassen. In den gelben Fleck verlegt Helmholtz die von Haidinger entdeckte büschelförmige Figur, die sogenannten Polarisationsbüschel. Sie kommen zur Erscheinung, wenn man das Auge auf eine Fläche richtet, von welcher polarisirtes Licht ausgeht, z. B. wenn man durch ein Nikol gegen eine gut beleuchtete weisse Fläche, z. B. Wolke blickt. Von den verschiedenen homogenen Farben zeigt nur das Blau die Polarisationsbüschel. Helmholtz beschreibt sie, wenn die Polarisationsebene des Lichtes vertikal ist, auf weissem Felde als hellere, durch zwei zusammengehörige Hyperbeln begrenzte bläuliche Flecke, durch einen dunklen, gelblich gefärbten Büschel getrennt. Die Ursache für diese Büschel sind nicht die von Valentin nachgewiesenen doppeltbrechenden Eigenschaften der Augenmedien, die Erscheinungen erklären sich nach Helmholtz durch die Annahme, dass die gelbgefärbten Elemente des gelben Flecks schwach doppeltbrechend sind, und dass der ausserordentliche Strahl von blauer Farbe in ihnen stärker absorbirt wird als der ordentliche Strahl. Die analoge Eigenschaft ist unter den gefärbten, doppeltbrechenden Körpern sehr verbreitet. — Helle bewegliche Punkte erscheinen im Gesichtsfelde, wenn man namentlich bei angestrengtem Gehen oder bei anderen Muskelbewegungen eine grosse gleichmässig erleuchtete Fläche, z. B. den Himmel oder Schneefelder, starr ansieht. J. Müller und Andere haben sie für die Wahrnehmung der Blutkörperchen in den Netzhautgefässen genommen (S. 856), deren Grösse hinreichen würde, um eine Gesichtswahrnehmung zu veranlassen. Purkinje sah unter analogen Bedingungen wiederholt in der Mitte des Gesichtsfeldes lichte Punkte aufspringen, die, ohne ihre Stelle zu ändern, rasch in schwarze Punkte übergehen, die ebenso schnell wieder verschwinden. Andere subjective, noch unerklärte optische Wahrnehmungen werden namentlich von Purkinje berichtet, sie sind wahrscheinlich zum Theil nur individueller Natur.

IV. Gesichtswahrnehmungen.

Die Augenbewegungen.

Die Empfindungen, welche in unserem Sehorgane durch die Einwirkung des Lichtes hervorgerufen werden, benutzen wir in Verbindung mit einigen anderen Sinneseindrücken, namentlich mit gewissen Muskelgefühlen, um uns eine Vorstellung über die Existenz, die Form und die Lage äusserer Objecte zu bilden. Wir müssen die Eigenthümlichkeiten der Netzhautbilder, der Muskelgefühle etc. untersuchen, an welche die Vorstellungen, die wir als Gesichts-

wahrnehmungen bezeichnen, normal geknüpft sind. Namentlich bei der Bildung der optischen Raumvorstellungen sind die Augenbewegungen von überwiegender Bedeutung, denen wir zuerst unsere Aufmerksamkeit zuwenden werden.

Drehpunkt. Das Auge bewegt sich auf einem in die festen Wände der Augenhöhle eingeschlossenen Polster von organischem Gewebe wie ein kugeliger Gelenkkopf in seiner Pfanne. Die Gesetze derartiger Bewegungen haben wir bei der Besprechung der Gelenke kennen gelernt (S. 667). Die wesentlichen Augenbewegungen sind Drehungen um einen fixen Mittelpunkt.

Donders u. A. haben zahlreiche Messungen über die Lage des Drehpunktes im Auge angestellt. Er fällt nicht genau mit der Mitte der Sehaxe zusammen, sondern liegt bei emmetropischen Augen etwa 1,77 mm hinter derselben. Die Lage des Drehpunktes wird hauptsächlich durch die Form der hinteren Augenhälfte bestimmt. Bei kurzsichtigen Augen liegt, da sie in ihrem hinteren Abschnitt verlängert sind, der Drehpunkt weiter nach hinten als bei emmetropischen. Bei den kürzeren hypermetropischen Augen rückt dagegen der Drehpunkt etwas weiter nach vorne.

Die Bestimmung des Drehpunktes wurde von Donders in der Art ausgeführt, dass zuerst der horizontale Durchmesser der Hornhaut mit dem Ophthalmometer gemessen, und die Lage der Gesichtslinie gegen die Hornhautaxe bestimmt wurde. Dann wurde ein feiner senkrechter Faden unmittelbar vor dem Auge ausgespannt, und beobachtet, wie weit das Auge nach rechts und links blicken musste, damit bald der eine, bald der andere Rand der Hornhaut hinter den Faden trat. Aus diesem Winkel und der bekannten Breite der Drehung lässt sich die Lage des Drehpunktes berechnen (Helmholtz).

Die organischen Gewebe, welche das Polster des Auges in der Augenhöhle bilden, sind an sich nicht zusammendrückbar. Das Volum des Polsters könnte rasch wohl nur durch veränderte Blutfülle wechseln, worauf Ortsverrückungen des gesammten Augapfels, namentlich nach vorn oder rückwärts, beruhen könnten. Auf der Entleerung des Blutes beruht das Einsinken des Auges in die Augenhöhle nach dem Tode, oder bei starken krankhaften Wasserverlusten, die analoge Erscheinung nach erschöpfenden Leiden wird zum Theil auch durch den Schwund des Augenfettpolsters bedingt. Fick und Müller wollen bei forcirter Oeffnung der Augenlider ein Hervortreten des Auges aus der Orbita, etwa um 1 mm, beobachtet haben.

Augendrehungen. Die Drehung des Augapfels könnte vermöge seiner Befestigung um jede beliebige Axe stattfinden, wozu auch die nöthigen Muskeln vorhanden wären. Die Grösse dieser Drehung kann jedoch niemals einen bestimmten Grad übersteigen, da die Augenbewegungen durch die Anheftungsweise der Antagonisten und den Widerstand des Opticusstammes gehemmt werden. Andererseits werden bei den gewöhnlichen Umständen des normalen Sehens durchaus nicht alle möglichen Bewegungen wirklich ausgeführt.

Für die Bewegungen des Auges (Helmholtz) bildet der Drehpunkt den festen Punkt. Beide Augen fixiren bei normalem Sehen ein und denselben äusseren Punkt: Fixationspunkt oder für unsere gegenwärtigen Betrachtungen nach Helmholtz Blickpunkt. Die gerade Linie, welche den Blickpunkt mit dem Drehpunkt verbindet, heisst Blicklinie, sie fällt annähernd mit der Gesichtslinie zusammen. Eine durch beide Blicklinien gelegte Ebene heisst Blickebene. Die Verbindungslinie der Drehpunkte, welche mit den beiden im Blickpunkt zusammenlaufenden Blicklinien ein Dreieck einschliesst,

wird als Grundlinie bezeichnet. Die Medianebene des Kopfes, welche den Kopf in zwei symmetrische Hälften theilt, schneidet die Grundlinie in ihrem Mittelpunkt und die Blickebene in der Medianlinie der Blickebene. Der Blickpunkt kann gehoben und gesenkt, d. h. stirnwärts oder kinnwärts bewegt werden. Das Feld, welches er zu durchlaufen vermag, welches wir uns als Theil einer Kugeloberfläche, deren Mittelpunkt im Drehpunkt liegt, denken, wird als Blickfeld bezeichnet, es ist weniger ausgedehnt als das Gesichtsfeld. Nehmen wir eine bestimmte Lage der Blickebene als Anfangslage an, so kann jede neue Lage der Blickebene bestimmt werden durch den Winkel, den dieser mit der Anfangslage bildet. Der Winkel wird als Erhebungswinkel des Blickes bezeichnet und positiv gerechnet, wenn die Blickebene gehoben, d. h. stirnwärts verschoben wird, dagegen negativ, wenn die Blickebene gesenkt, d. h. kinnwärts verschoben wird. Die Blicklinie jedes Auges kann in der Blickebene lateralwärts oder medianwärts gewendet werden, diese Bewegungen werden Seitenwendung des Blickes genannt, die Grösse derselben wird durch den Seitenwendungswinkel gemessen, d. h. durch den Winkel, welchen die Richtung der Blicklinie mit der Medianlinie der Blickebene bildet. Durch Erhebungswinkel und Seitenwendungswinkel ist die Richtung der Blicklinie bestimmt, nicht aber die Stellung des Auges. Der Augapfel kann noch Drehungen um die Blicklinie als Axe ausführen. Bei derartigen Drehungen dreht sich die Iris um die Blicklinie wie ein Rad um die Axe, sie werden daher als Raddrehungen, Augenrollen, bezeichnet. Die Grösse der Raddrehungen kann durch den Winkel gemessen werden, den eine im Auge feststehende Ebene mit der Blickebene macht. Als solche feste Ebene nimmt Helmholtz den Netzhauthorizont an, er fällt mit der Blickebene zusammen, wenn der Blick beider Augen der Medianebene des Kopfes parallel in aufrechter Kopfhaltung nach dem unendlich entfernten Horizont gerichtet ist. Den Winkel, welchen Netzhauthorizont und Blickebene bei den Raddrehungen des Auges mit einander bilden, bezeichnet man als Raddrehungswinkel des Auges, er wird positiv gerechnet, wenn sich das Auge wie der Zeiger einer von ihm betrachteten Uhr gedreht hat, wenn also das obere Ende des vertikalen Netzhautmeridians nach rechts abgewichen ist.

Sind die Blicklinien dauernd parallel, überblickt ein emmetropisches Auge z. B. eine Reihe weit entfernter Gegenstände, so gehört (Donders), wenn die Lage der Blicklinie in Beziehung zum Kopf gegeben ist, dazu auch ein bestimmter unveränderlicher Werth der Raddrehung, d. h. der Raddrehungswinkel jedes Auges ist bei parallelen Blicklinien eine Function nur von dem Erhebungswinkel und dem Seitenwendungswinkel (Helmholtz). Die Stellung des Kopfes ist dabei vollkommen gleichgültig.

Das Auge führt seine normalen Bewegungen entweder ohne oder mit Raddrehung aus, reine Raddrehungen kommen normal nicht vor.

Als Primärstellung der Augen wird von den verschiedenen möglichen Augenstellungen diejenige bezeichnet, von der aus der Blick gerade nach oben oder unten, gerade nach rechts oder links gewendet werden kann, ohne dass dabei Raddrehungen des Auges erfolgen. Die Primärstellung ist die Ruhelage des Auges bei parallelen Blicklinien und entspricht einer mittleren Lage der

Blickebene, sie muss übrigens bei den betreffenden Beobachtungen für jedes Auge direct bestimmt werden (die Methode cfr. bei HELMHOLTZ a. a. O.).

Aus den oben gegebenen Definitionen ergibt sich, dass der Blickpunkt aus der Primärstellung auf jeden beliebigen Punkt des Blickfeldes ohne Raddrehung eingestellt werden könnte. Der Blickpunkt kann sowohl auf- und abwärts, als lateral- und medianwärts verschoben werden, mit anderen Worten, er kann um seine Queraxe (bei Bewegungen des Auges nach auf- und abwärts) und um seine Höhenaxe (bei den seitlichen Bewegungen des Auges gedreht werden. Alle schrägen Bewegungen liessen sich ebenfalls um diese beiden Axen ausführen, da sich alle schrägen Bewegungen zurückführen lassen auf eine Rotation, zuerst um die Höhen- und dann um die Queraxe.

Von allen den möglichen Bewegungen werden aber ohne Raddrehung des Auges nur reine Erhebung oder Senkung des Auges ohne Seitenabweichung und reine Seitenabweichung ohne Erhebung oder Senkung ausgeführt. Man bezeichnet die aus diesen Bewegungen hervorgehenden Stellungen des Auges als Secundärstellungen. Als Tertiärstellungen des Auges werden diejenigen bezeichnet, bei denen zu den Drehungen um die Höhen- und Queraxen noch Raddrehungen hinzukommen. Der Raddrehungswinkel wächst nach DONDERS, wie wir sahen, mit dem Erhebungs- und Seitenwendungswinkel, bei extremen Stellungen kann die Drehung mehr als 10° betragen. In erhobener Stellung der Blickebene sind mit Seitenwendungen nach rechts Raddrehungen des Auges nach links, und mit Seitenwendungen nach links Raddrehungen nach rechts verbunden. In gesenkter Stellung der Blickebene dagegen geben Seitenwendungen nach rechts auch Raddrehungen nach rechts und Seitenwendungen nach links Raddrehungen nach links. Mit anderen Worten: Wenn der Erhebungs- und Seitenwendungswinkel dasselbe Vorzeichen haben, ist die Raddrehung negativ, wenn jene ungleiches Vorzeichen haben, ist die Raddrehung positiv. Bei gleicher Erhebung oder Senkung der Blickebene ist die Raddrehung um so stärker, je grösser die seitliche Abweichung, und bei gleicher Seitenwendung um so stärker, je grösser die Erhebung oder Senkung ist.

LISTING hat das weitere allgemeine Bewegungsgesetz für parallel gerichtete emmetropische Augen aufgestellt, man kann (HELMHOLTZ) das LISTING'sche Gesetz folgendermassen aussprechen: Wenn die Blicklinie aus ihrer Primärstellung übergeführt wird in irgend eine andere Stellung, so ist die Raddrehung des Augapfels in dieser zweiten Stellung eine solche, als wäre letzterer um eine feste Axe gedreht worden, die zur ersten und zweiten Richtung der Blicklinie senkrecht steht.

Bei konvergirenden Sehaxen treten um so grössere Abweichungen von den bei parallelen Sehaxen geltenden Gesetzmässigkeiten der Augen ein, je grösser die Konvergenz wird. Eine allgemeine Formulirung haben die hierher gehörigen Erfahrungen noch nicht gefunden. Nach WUND findet bei den Bewegungen des Auges zu Tertiärstellungen ein Axenwechsel statt, so dass die Sehaxe leicht gekrümmte Bogenlinien beschreibt.

Das LISTING'sche Gesetz entspricht dem HELMHOLTZ'schen Principe der leichtesten Orientirung. Mit jeder Abweichung der Blicklinie aus der Primärstellung ist ein fixer Werth der Raddrehung und eine bestimmte Augenstellung verbunden. Bewegen wir also unser Auge in dem Blickfelde hin und her, so bleibt die relative Stellung der peripherischen

feststehenden Objecte zu dem gerade fixirten immer dieselbe, sie würde sich ändern müssen, wenn nicht mit jeder Augenstellung eine bestimmte Raddrehung verbunden wäre. Feststehende Objecte nehmen also immer dieselbe relative Stellung zu den nebenstehenden Objecten ein, so oft wir unser Auge darauf richten, wodurch die Orientirung, z. B. ob der Gegenstand fest steht oder sich bewegt, wesentlich erleichtert ist. Bei jeder gegebenen Richtung der Sehaxe und der damit fest verbundenen Raddrehung wird eine senkrechte Linie, die den Fixationspunkt schneidet, sich immer auf demselben Netzhautmeridian abbilden.

Die einfachste Methode, um die Raddrehung des Auges zu erkennen, ist mittelst linearer Nachbilder im Auge, deren Stellung man mit vertikalen und horizontalen Linien an der Wand vergleicht. Man hat zuerst die Primärstellung der Augen aufzusuchen. Bei den Tertiärstellungen ändert sich dann, dem oben gegebenen Gesetze entsprechend, die Neigung des Nachbildes zu den feststehenden Linien der Wand.

Stellung des vertikalen Meridians des Auges bei den verschiedenen Augenstellungen. — Für den Augenarzt ist die Kenntniss der Stellung des vertikalen Meridians des Auges von besonderer Bedeutung. Obgleich sich das Folgende aus dem Vorstehenden ableiten lässt, soll es hier doch noch einmal gesonderte Darstellung finden.

1. Beim Blick in der horizontalen Medianebene, welche man sich senkrecht zur Angesichtsfläche durch die die beiden Augencentren verbindende Gerade — Grundlinie — gelegt denkt, gerade aus, nach links oder nach rechts ist der vertikale Meridian nicht geneigt, sondern behält seine vertikale Stellung bei. Nach Meissner ist dies genau nur dann der Fall, wenn die Visirebene 45° unter den Horizont geneigt und die Mittellinie senkrecht zur Grundlinie gerichtet ist (Primärstellung).

2. Beim Blick in der vertikalen Medianebene, die in der Mittellinie des Gesichtes auf der oben genannten horizontalen Medianebene senkrecht steht, gerade aus, nach oben, nach unten, verhält sich der vertikale Meridian ebenso wie bei der vorhin betrachteten Augenstellung.

3. Beim Blick diagonal nach links oben sind die vertikalen Meridiane beider Augen parallel nach links geneigt.

4. Beim Blick diagonal nach links unten sind sie analog parallel nach rechts geneigt.

5. Beim Blick diagonal nach rechts oben sind die beiden vertikalen Meridiane der Augen parallel nach rechts geneigt.

6. Beim Blick diagonal nach rechts unten sind sie parallel nach links geneigt.

Augenmuskeln. — Wir haben nun noch nach den Muskeln zu fragen, welche für jede der eben genannten Stellungen zur Verwendung kommen (Fig. 224). Die Muskelebene des R. externus (Abducens) und des R. internus fällt so ziemlich mit der Aequatorialebene des Bulbus zusammen. Die Rotation kann also, da sie um die Vertikalaxe des Bulbus erfolgt, ohne Neigung des Meridians beim Blick nach aussen und innen erfolgen. Bei den diagonalen Bulbusstellungen ist der Abducens und zwar bei denen nach aussen und oben und nach aussen und unten mitbetheiligt. Der R. internus bei der Stellung nach oben und innen, und nach unten und aussen; bei diesen Stellungen betheiligen sie sich auch an der normalen Meridianneigung, so dass bei Ausfall ihrer Wirkungen, z. B. bei Lähmungen des einen oder andern derselben, der Meridian in dem betroffenen Auge falsch geneigt wird, was zur Diagnose der Ursachen der Motilitätsstörungen der Augen vorzugsweise benutzt wird.

Die Muskelebene des Rect. superior und inferior ist von vorn und aussen nach hinten und innen gegen den vertikalen Meridian geneigt; also fällt auch die Drehungsaxe nicht mit dem Querdurchmesser des Auges zusammen, sondern ist schief gegen ihn geneigt. Der Rect. superior rollt nach oben und innen und neigt dabei den Meridian nach innen. Der R. inferior rollt nach oben und innen und neigt den Meridian nach aussen. Beim Blick nach aussen sind ihre Drehbewegungen auf den Bulbus am deutlichsten, beim Stand der Cornea nach innen ihre Wirkungen auf den Meridian.

Bei dem Obliquus superior (Trochlearis) und Obliq. inferior ist die Muskelebene so gegen den horizontalen Meridian geneigt, dass das innere Ende nach vorn, das aussere nach hinten von ihm gelegen ist. Der Obliquus superior dreht die Cornea nach unten und aussen und neigt den vertikalen Meridian nach innen; der Obl. inferior dreht die Cornea nach oben und aussen und neigt den Meridian auch nach aussen. Den Haupteinfluss auf die Drehung der Cornea besitzen sie bei deren Stellung nach innen, hier wird der Ausfall ihrer Wirkungen am deutlichsten. Den Meridian neigen sie am stärksten bei der Stellung nach aussen.

Ruete und Fick haben ohngefähr in der Primärstellung des Auges die Winkel gemessen, welche die Drehaxe der Augenmuskeln bildet mit der Sehaxe, Queraxe und Höhenaxe des Auges, wodurch die Lage der Drehaxe vollkommen bestimmt ist. Fick gibt folgende Tabelle:

Muskel:	Winkel, den die Drehaxe bildet mit der Sehaxe:	Höhenaxe:	Queraxe:
Rectus superior	111° 21′	108° 22′	151° 10′
- inferior	63 37	114 28	37 49
- externus	96 15	9 15	95 27
- internus	85 1	173 13	94 28
Obliquus superior	150 16	90	60 16
- inferior	29 24	90	119 44

Es fallen also auch nach diesen Beobachtungen die Drehaxen des Rectus externus und internus ziemlich genau mit der Höhenaxe zusammen. Die beiden Obliqui liegen hier genau in der Horizontalebene.

Beim Blick gerade aus sind alle Muskeln im Gleichgewicht, dabei überwiegen die R. interni etwas vermöge ihrer stärkeren Entwickelung, so dass sich die Sehaxen etwa in einer Entfernung von 2,5—3,75 m schneiden, der Meridian ist nicht geneigt.

Beim Blick horizontal nach aussen wirkt der R. externus, der Meridian ist nicht geneigt.

Beim Blick horizontal nach innen wirkt der R. internus, der Meridian ist nicht geneigt.

Beim Blick vertikal nach oben wirken gemeinsam der R. superior und Obliq. inferior, der Meridian ist nicht geneigt.

Beim Blick nach unten kommen der R. inferior und Obl. superior zur Wirkung, der Meridian ist nicht geneigt.

Beim Blick diagonal nach oben und aussen wirken der R. superior, R. externus und der Obl. inferior zusammen. Der letztere ist bezüglich des Meridians hier in seiner Kraftstellung (vergl. oben), er überwiegt und neigt daher den Meridian nach aussen.

Beim Blick diagonal nach aussen und unten werden der R. inferior, R. externus und Obl. superior benutzt; letzterer überwiegt in Bezug auf die Meridianstellung, so dass der Meridian nach innen geneigt ist.

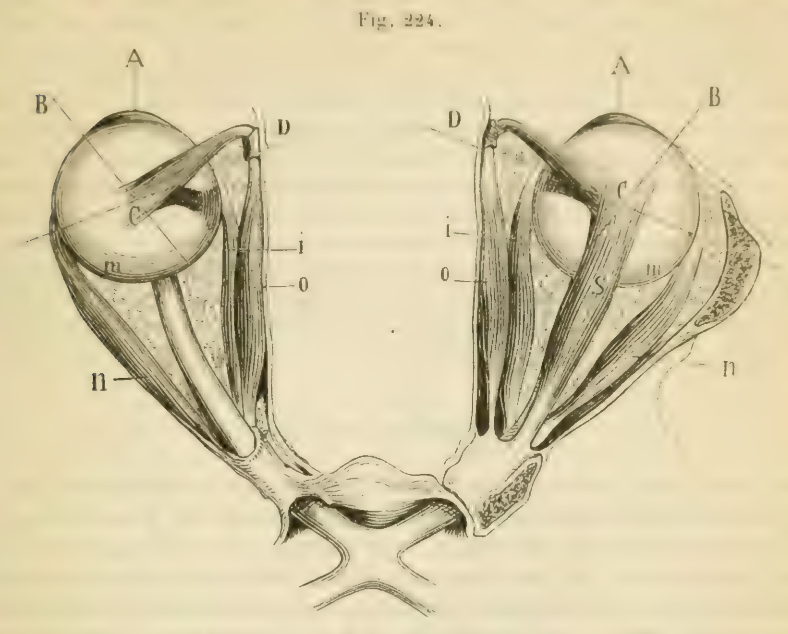
Beim Blick diagonal nach oben und innen wirken der R. superior, R. internus und Obl. superior, die Recti sind in Betreff des Meridians in ihrer Kraftstellung und neigen ihn nach innen.

Beim Blick diagonal nach innen und unten sind der R. inferior, der R. internus und der Obliquus superior betheiligt; der R. inferior überwiegt dabei in Betreff des Meridians und neigt ihn nach aussen.

Bei jeder Augenstellung sind daher bestimmte Augenmuskeln mehr oder weniger aktiv verkürzt, andere dagegen passiv gedehnt, es ist also mit jeder Augenstellung ein bestimmtes Muskelgefühl verbunden, welches die Beurtheilung der Richtung unserer Blicklinie, resp. Sehaxe, wesentlich erleichtert (cf. unten).

Zum Studium der Augenbewegungen dient Ruete's Ophthalmotrop; elastische Schnüre stellen an einem doppelten Augenmodell die Muskeln vor, deren Stelle sie genau ein-

Fig. 224.



s R. superior; *i* R. internus; *n* R. externus; *o* Obliquus superior; *C* Augapfel.

nehmen. An einer Scala können ihre Verlängerungen und Verkürzungen abgelesen werden, welche den einzelnen Augenstellungen entsprechen.

Die Augenmuskeln werden von den Nn. Oculomotorius, Abducens und Trochlearis in Thätigkeit versetzt, die beiden letzteren gehen zu den ihnen gleichnamigen Muskeln, zu den übrigen verläuft der Oculomotorius. Beide Augen können normal nicht unabhängig von einander bewegt werden, wir sind z. B. nicht im Stande, mit dem einen Auge aufwärts und gleichzeitig mit dem anderen abwärts zu blicken. Auch wenn das eine Auge zum Sehen nichts beiträgt, wenn wir es z. B. verdecken, oder wenn es erblindet ist, so macht es doch die Bewegungen des andern mit. Bei den normalen Augenbewegungen liegen also beide Blicklinien immer in derselben Ebene, sie haben bei aufrechter Stellung des Kopfes stets dieselbe Neigung gegen den Horizont. Nach vorn können die Blicklinien nicht oder nur in sehr geringem Grade divergiren, dagegen können sie in einem beinahe beliebigen Grade konvergiren. Als Ursache für diesen Zusammenhang zwischen den Augenbewegungen wurden von J. Müller angeborene Einrichtungen angenommen, E. Hering stellte dafür sein Gesetz der Gleichmässigkeit der Innervation beider Augen auf. Man rechnet die Erscheinungen der gemeinsamen Innervation der Augenmuskeln unter die Klasse der sogenannten Mitbewegungen. Adamück zeigte, dass wirklich anatomisch eine gewisse Verknüpfung der nervösen Centralorgane für die Augenbewegung existirt. Die beiderseitigen Augenmuskeln haben gemeinsame motorische Centren in den vorderen Vierhügeln und dem Boden der Sylvischen Wasserleitung. Auf Reizung eines vorderen Vierhügels treten immer gleichzeitig an beiden Augen bestimmt vorherzusagende Bewegungen ein, bei länger fortgesetzter Reizung dreht sich endlich auch der Kopf in demselben Sinne. Trennt man die vorderen Vierhügel durch einen tiefen Schnitt von einander, so sind nun die auf Reizung jeder derselben eintretenden Augenbewegungen auf das Auge der gereizten Seite beschränkt.

Kopfbewegungen. — Aehnliche Gesetze, wie für die Augenbewegungen, gelten auch für die Bewegungen des Kopfes. Das Princip der gewöhnlichen Kopfbewegungen ist das gleiche wie das der Augenbewegungen (Helmholtz). Das Hinterhauptsgelenk besteht aus zwei Gelenken, das eine zwischen Hinterhauptsbein und Atlas, das zweite zwischen Atlas und zweitem Halswirbel. Das erste Gelenk erlaubt eine Drehung um eine horizontal von rechts nach links gehende Axe, und in geringerer Ausdehnung auch eine Drehung um eine horizontal von vorn nach hinten gehende Axe, das zweite Gelenk besitzt nur eine vertikale Drehungsaxe. Beide Gelenke zusammen gestatten also mässige Drehungen um alle beliebig gelegenen Axen. Dazu kommt noch die Beweglichkeit der Halswirbelsäule. Will man die Augen weit nach rechts oder links wenden, so dreht sich der Kopf um die senkrechte Axe im unteren Gelenk. Wenden wir den Blick gerade nach oben oder nach unten, so dreht sich der Kopf um die horizontal von rechts nach links gehende Drehungsaxe der Gelenkköpfe des Hinterhauptsbeins. Wird er aber schräg nach rechts und oben gekehrt, so dreht er sich, wie das Auge, um eine von oben rechts nach unten links gehende Axe, so dass die rechte Seite des Kopfes höher zu stehen kommt als die linke. Beim Blick nach unten rechts kommt die rechte Seite des Kopfes tiefer zu stehen.

Das monokulare Gesichtsfeld.

Bei dem gewöhnlichen Gebrauche unserer Augen betrachten wir stets mit beiden Augen zugleich die Gesichtsobjecte und lassen zur Beurtheilung derselben auch Bewegungen der Augen, des Kopfes und wohl auch des ganzen Körpers hinzutreten. Es erwachsen aus dieser Vereinigung für unser Sehvermögen wesentliche Vortheile, aber auch schon mit Benutzung eines Auges können wir uns bis zu einem gewissen Grade richtige Vorstellungen über die räumlichen Verhältnisse sichtbarer Dinge der Aussenwelt bilden. In welcher Weise dies erfolgt, soll zuerst dargelegt werden (nach Helmholtz).

Die Stellung, welche ein leuchtender Punkt zu unserem Auge einnimmt, seine Richtung, ist dadurch zu finden, dass wir von dem Netzhautbild eine gerade Linie, Gesichtslinie, durch den Knotenpunkt des Auges ziehen. Wir wissen zunächst, dass der leuchtende Punkt vor dem Auge innerhalb dieser Linie liegen muss*).

Ohne weitere Unterstützung unserer Wahrnehmung bleibt es uns aber vollkommen unbekannt, auf welchem Punkte der durch die Richtung des gesehenen Objectes bestimmten Linie, also in welcher Entfernung vor dem Auge sich der leuchtende Punkt befindet**). Betrachten wir z. B. weit entfernte Gegenstände, welche uns aus früheren Erfahrungen über ihre Farbe, Form, Grösse etc. keine Anhaltspunkte zur Deutung unserer Gesichtswahrnehmungen bieten, wie z. B. die Gestirne des Himmels, so erscheinen sie uns, obwohl sie in Wahrheit nach den drei Dimensionen des Raumes vertheilt sind, nur nach zwei Dimensionen ausgebreitet. Eine Raumgrösse, welche nur zwei Dimensionen erkennen lässt, ist aber eine Fläche. Wenn wir also beim Sehen die Dimension der Entfernung nicht mehr zu unterscheiden vermögen, so nehmen wir die Gegenstände nicht mehr wirklich räumlich, sondern nur in einer scheinbar flächen-

*) Das Nähere über die Richtung des Sehens wird im folgenden Paragraphen beigebracht.

**) Ueber den Einfluss des Accommodationsgefühls zur Schätzung der Entfernung gesehener Objecte, cf. S. 890.

haften Anordnung vertheilt wahr. Diese imaginäre flächenhafte Anordnung der gesehenen Objecte wird als Gesichtsfeld bezeichnet.

Auch wenn unser Gesichtssinn, z. B. bei binokularem Sehen uns vollständig genaue und richtige Anschauungen über die wahre Vertheilung der Objecte im Raume verschafft, so überzeugen wir uns leicht, wenn wir mit unserem Blick über die Gesichtsobjecte hinstreifen, dass sie auch dann noch in einer Fläche angeordnet scheinen; darin liegt der Grund, warum es möglich ist, durch Zeichnungen und Gemälde, die nur eine flächenhafte Ausbreitung besitzen, unserem Auge den Eindruck körperlicher Objecte hervorzurufen.

Da wir die Richtung der einzelnen leuchtenden Punkte zu unserem Auge genau feststellen können, so können wir auch die gegenseitige Ordnung gleichzeitig gesehener Punkte im Gesichtsfelde bestimmen. Erleichtert und vervollkommnet wird diese Bestimmung der relativen Lage der Objecte dadurch, dass wir den Blick im Gesichtsfelde schweifen lassen.

Der relativen Lage der Objecte im Gesichtsfelde entspricht eine correspondirende relative Lage der durch die Objecte gereizten Netzhautpartien. Die Möglichkeit der Orientirung im Gesichtsfelde setzt also die Orientirung auf der eigenen Netzhaut voraus. Das Gesichtsfeld ist gleichsam die nach aussen projicirte Netzhaut, jeder Punkt des Gesichtsfeldes entspricht einem bestimmten Punkte der Netzhaut, dessen Erregung sich durch einen irgendwie verschiedenen Zusatz zu der Empfindung von den Erregungen aller anderen Netzhautpartien unterscheidet, wenn auch der Reiz an den verschiedenen gereizten Stellen objectiv der gleiche ist. Man bezeichnet diese die Reizung jedes einzelnen Netzhautpunktes charakterisirende Zugabe zu einer sonst gleichen Empfindung anderer Netzhautstellen, wie bei dem Tastsinn, als Lokalzeichen.

Das Sehfeld ist mit dem Auge beweglich, wie die Netzhaut, deren subjectives Bild es ist. Jeder Punkt des Gesichtsfeldes hat also seinen correspondirenden Punkt auf der Netzhaut, jeder Punkt des Gesichtsfeldes ist in der Empfindung bezeichnet durch das Lokalzeichen, welches der Empfindung der entsprechenden Netzhautstelle angehört. Nachbilder, die in Veränderungen bestimmter Netzhautpartien beruhen, wandern daher mit dem Auge und halten im Gesichtsfelde, so lange sie sichtbar sind, stets die gleiche Stellung ein. Das Gleiche gilt von dauernder Veränderung einer Netzhautstelle, auch der Gefässbaum der Retinalgefässe, der blinde Fleck projiciren sich daher immer an derselben Stelle des Gesichtsfeldes.

Bei unbewegtem Auge erregen zwei leuchtende im Gesichtsfelde befindliche Punkte zwei verschiedene Netzhautelemente resp. Sehnervenfasern, deren Lokalzeichen der Erregung uns die Bildung zweier verschiedener Empfindungen ermöglicht. Von vorne herein wissen wir ebenso wenig, welcher Stelle der Netzhaut die Lokalzeichen entsprechen, als wo die Sehnervenfasern liegen, welche die Erregung leiten, oder die Ganglienzellen im Gehirn, zu denen die Erregung geleitet wird. Wir haben aber aus täglicher Erfahrung gelernt, wie wir uns selbst oder unsere Hand bewegen müssen, um jeden der leuchtenden Körper zu berühren. Unsere Lokalkenntniss im Gesichtsfelde wird durch derartige Körperbewegungen vermittelt, durch sie lernen wir direct die Lokalzeichen der Empfindung verbinden mit dem Orte im Sehfeld, in den das Object

gehört, welches eine bestimmte Stelle unserer Netzhaut erregt. Das Netzhautbild selbst kommt also bei der Lokalisation im Gesichtsfelde nicht in Betracht, es ist nur das Mittel, die Lichtstrahlen je eines Punktes des Gesichtsfeldes auf je eine Nervenfaser zu concentriren, wir sehen das Netzhautbild selbst nicht. Das ist der Grund, warum uns die Gegenstände, obwohl sie sich verkehrt auf der Netzhaut abbilden, aufrecht erscheinen. Die Stellung des Netzhautbildes könnte also irgendwie beschaffen sein; die wahre Stellung der Objecte wird primär nicht aus dem Netzhautbild, sondern nur aus den Erfahrungen beurtheilt, die wir vermittelst unserer Körperbewegungen uns von dem Orte im Raume gebildet haben, von dem aus die bestimmten Lokalzeichen unserer Netzhaut normal hervorgerufen werden. Diese Wahrnehmungen sind also keine reinen Empfindungen, sondern Akte unseres Urtheils.

Grössenwahrnehmung. Unser Urtheil über die relative Grösse verschieden grosser Objecte, welche gleich weit von dem Auge entfernt sind, beruht theils auf dem Bewusstwerden der verschiedenen Grösse der Augenbewegungen, welche nothwendig sind, um die verschiedenen Punkte ihres Umfangs zu fixiren, theils auf dem verschiedenen Umfang der von ihnen erregten Netzhautpartien (Grösse des Netzhautbildes), die wir direct als verschiedene Grössen im Gesichtsfelde empfinden. Da das Gesichtsfeld für unsere Vorstellung keine bestimmte Grösse hat, so können wir die absolute Grösse eines Gegenstandes nur durch Zuhülfenahme anderweitig, namentlich durch den Tastsinn, gewonnener Erfahrungen schätzen. Zu der Wahrnehmung der Grösse des Netzhautbildes muss dabei dann noch jedesmal eine Schätzung der Entfernung hinzukommen, da wir durch Erfahrung wissen, dass mit der Entfernung der Umfang des Netzhautbildes, der durch das leuchtende Object erregten Netzhautstelle, resp. der Umfang, den das Object im Gesichtsfeld einnimmt, kleiner wird.

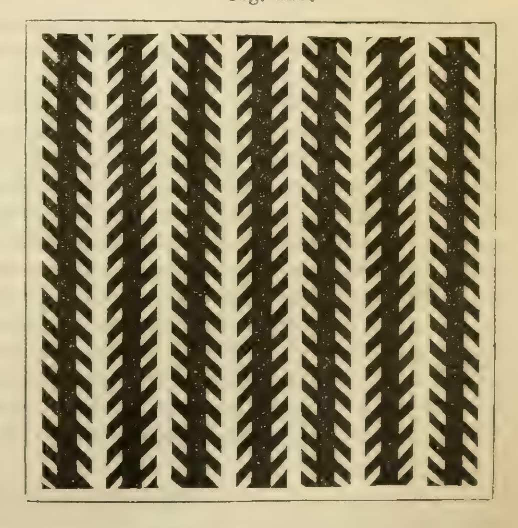
Fechner und Volkmann haben Versuche über die Genauigkeit in der Vergleichung sehr wenig von einander verschiedener Abstände im Gesichtsfeld angestellt. Fechner stellte die Spitzen eines Zirkels auf verschiedene Entfernungen ein und versuchte, den Spitzen eines zweiten Zirkels nach dem Augenmaasse gleiche Entfernung wie denen des ersten zu geben. Volkmann hing drei Fäden, die durch Gewichte gespannt wurden, verschiebbar gegen einander auf, und suchte nach dem Augenmaasse ihre Abstände gleich zu machen, oder er versuchte, feinen, parallelen, durch Mikrometerschrauben beweglichen Silberfäden gleiche Distanzen zu geben. Der mittlere Fehler bei diesen Beobachtungen macht für denselben Beobachter stets nahezu den gleichen Bruchtheil der ganzen verglichenen Länge aus, so dass sich auch in diesen Versuchen die Richtigkeit des Fechner'schen psychophysischen Gesetzes bewährte, welches lehrt, dass die unterscheidbaren Differenzen der Empfindungsgrössen allgemein der gesammten Grösse des Empfundenen proportional sind. Die Vergleichung horizontaler Längen mit vertikalen zeigt noch ausserdem einen weiteren konstanten Fehler, indem wir vertikale Linien für länger halten als gleich lange horizontale. Auch die Vergleichung zwischen zwei vertikalen Linien fällt ungenauer aus als zwischen zwei horizontalen. Volkmann fand bei der letztangegebenen Versuchsmethode den konstanten Fehler in Beurtheilung horizontaler Abstände zu $\frac{1}{79,1}$, bei vertikalen stieg er bis auf $\frac{1}{45,1}$. Auch bei Vergleichung ungleicher Abstände fand Volkmann konstante Fehler, nach welchen die links liegende Distanz immer etwas zu gross gemacht wird im Verhältniss zur rechts liegenden. Mit grosser Schärfe können wir den Parallelismus zweier einfacher Linien beurtheilen, dagegen erscheint in einem richtig gezeichneten, gleichseitigen Dreieck, dessen eine Seite horizontal liegt, der Winkel an der Spitze immer kleiner als die Winkel an der Basis.

Die Abmessung von Distanzen gelingt auch bei vollkommen ruhender Netzhaut, aber dann viel ungenauer als mit Zuhulfenehmen der Augenbewegungen. Besonders ist dadurch die genaue Vergleichung beeinträchtigt, dass Linien, die auf den peripherischen Theilen des Gesichtsfeldes oder der Netzhaut gerade erscheinen sollen, in Wahrheit gegen den Fixationspunkt convex gekrümmt sein müssen, da gerade Linien hier gekrummt erscheinen. Um diese Wahrnehmungen zu machen, müssen andere Objecte zur Orientirung fehlen. Da bei Ausschluss der Augenbewegungen unser Augenmaass viel weniger sicher ist, so werden bei jeder genaueren Vergleichung zweier Raumgrössen Augenbewegungen benutzt.

Auf **Bewegung eines Objectes** schliessen wir bei unbewegtem Auge daraus, dass dasselbe seine Stellung in dem Gesichtsfelde wechselt, d. h. dass sein Netzhautbild auf der Netzhaut seine Lage verändert. Befinden sich gleichzeitig in dem Gesichtsfelde feststehende Objecte, so ist die relative Verschiebung des bewegten Objectes gegen die feststehenden, der eine analoge Verschiebung der Netzhautbilder entspricht, ein sehr feines Mittel, um auch sehr langsam vor sich gehende Bewegungen wahrzunehmen, die auf einem gleichmässigen Hintergrund nicht unmittelbar wahrgenommen werden können. Fixiren wir dagegen ein bewegtes Object fortgesetzt und folgen ihm mit unserem Auge, wozu noch Kopf- und Körperdrehungen nothwendig werden können, so ändert das Netzhautbild seine Lage nicht, wir schliessen aber aus dem Bewusstwerden der Grösse der von uns zum Zweck der fortgesetzten Fixation gemachten Bewegungen auf die Geschwindigkeit der Bewegung des Objectes. Nach den Beobachtungen Vierordt's scheinen uns schnelle Bewegungen subjectiv verlangsamt, langsamere dagegen beschleunigt.

Richtungstäuschungen. — Um die Richtung gesehener Objecte genau angeben zu können, müssen wir ein genaues Bewusstsein von der Stellung unseres Auges, unseres Kopfes und unseres ganzen Körpers haben. Sowie das Bewusstsein nach einer dieser Richtungen gefälscht wird, so treten Richtungstäuschungen auf. Verschieben wir das eine Auge mit dem Finger, während das andere geschlossen ist, wobei eine Aenderung der Augenstellung ohne die normal mit einer solchen verbundenen Muskelgefühle stattfindet, so erscheinen die Gesichtsobjecte verschoben. Betrachtet man eine helle, senkrechte Linie in einem sonst dunklen Raum, oder bei Tageslicht eine Linie auf breitem, vollkommen gleichmässigem Hintergrund, und neigt den Kopf gegen die Schulter, so erfährt die Linie eine scheinbare Drehung nach der der Kopfdrehung entgegengesetzten Richtung. Diese Drehung der Linie erreicht ihr Maximum: 45°, bei einer Kopfdrehung um 135°, bei gerade nach unten gerichtetem Kopf erscheint die Linie wieder senkrecht. Sobald andere Objecte zur Orientirung benutzt werden können, verschwindet die Täuschung.

Fig. 225.



Die relative Richtung zweier Linien beurtheilen wir falsch, wenn andere dominirende

Linien unser Urtheil stören. Parallele Linien werden scheinbar convergent oder divergent, je nachdem wir schräge Seitenstriche auf sie auffallen lassen (ZÖLLNER) (Fig. 225).

Grössentäuschungen müssen, wie aus dem Obengesagten sich ergibt, immer dann eintreten, wenn wir die Entfernung eines Objectes falsch beurtheilen. Je grösser wir die Entfernung eines Objectes von unserem Auge taxiren, desto grösser scheint es uns. Bei dem Sehen in die Ferne kann, wenn wir die Entfernung falsch beurtheilen, z. B. eine Mücke, die sich nahe an unserem Auge vorbei bewegt, sehr gross erscheinen. Der Mond erscheint uns am Horizont grösser als hoch am Himmel, z. Th. darum, weil der Zenithabstand uns wesentlich kleiner scheint als der Abstand des Horizonts. Die Linie zwischen uns und dem Horizont, auf welcher sich eine Anzahl von Objecten befindet, scheint uns nach demselben Prinzipe länger zu sein als die ununterbrochene zum Zenith, nach welchem uns eine Distanz, welche durch mehrere Zwischenpunkte ausgefüllt ist, grösser erscheint, als die gleiche Distanz ohne die Zwischenpunkte. Ein Bergweg scheint uns aus der Ferne steiler anzusteigen als in der Nähe, weil wir aus der Ferne den tiefsten und den höchsten Punkt des Weges einander näher gerückt glauben.

Täuschungen über die Bewegung von Objecten treten dann ein, wenn unser Bewusstsein von dem Feststehen unseres Auges oder Körpers, z. B. während passiver Bewegungen, Fahren etc. gefälscht ist. Die Netzhautbilder gleiten dann über unsere Retina bei scheinbar unbewegtem Auge hin, und es entsteht so der Schein von Bewegung der Objecte im Gesichtsfeld. Bekannt ist das scheinbare Fortrücken der Landschaft in entgegengesetzter Richtung, in welcher die passive Bewegung des Fahrenden stattfindet. Machen unsere Augen unwillkürliche und unbewusste Bewegungen, so scheinen, wie im Schwindel, die gesehenen Objecte zu schwanken. Blickt man längere Zeit von einer Brücke in schnell fliessendes Wasser, so bekommt man nach einiger Zeit die Empfindung, als ob man mit der Brücke in entgegengesetzter Richtung wie das nun ruhig scheinende Wasser bewegt würde (cf. S. 889). Dagegen scheint ein sich rasch bewegender Körper, den man durch den electrischen Funken nur momentan beleuchten lässt, zu ruhen, weil in der minimalen Zeitdauer des electrischen Funkens das Retinabild nicht merklich weiter gerückt ist. Auf einem rasch rotirenden Farbenkreisel erblickt man bei der momentanen Beleuchtung mit dem electrischen Funken die Farbensektoren gesondert, ohne dass eine Mischungsempfindung eintritt.

Ausfüllung des blinden Flecks. — Das Gesichtsfeld ist, wie wir oben sahen, das Bild der nach aussen projicirten Netzhaut, die Grenzen des Gesichtsfeldes entsprechen den Grenzen der Netzhaut. Die Lücke in den lichtempfindlichen Apparaten der Netzhaut, die Eintrittsstelle des Sehnerven, der sogenannte blinde Fleck des Auges, bedingt auch eine Lücke im Gesichtsfeld. Wir sind für gewöhnlich aber nicht im Stande, diese Lücke im Gesichtsfeld wahrzunehmen. Bei dem Sehen mit beiden Augen wird der Mangel der Empfindung am blinden Fleck des einen Auges durch die statthabenden Empfindungen im anderen Auge, in welchen dem blinden Fleck eine lichtempfindliche Stelle entspricht, wechselweise ausgeglichen. Aber auch, wenn wir mit dem einen, unbewegten Auge das Gesichtsfeld betrachten, so erkennen wir die Lücke nicht. Die auf die Lücke fallenden Objecte des Sehfeldes verschwinden einfach. Eine Linie, deren Ende auf die Lücke im Gesichtsfeld trifft, scheint verkürzt. Heften wir den Blick eines Auges auf eine gleichmässig erhellte und gefärbte Fläche, so erscheint, trotz der durch den blinden Fleck bedingten Lücke, die ganze Fläche, also auch der dem blinden Fleck entsprechende Theil derselben, von der Farbe des Grundes. Nach E. H. WEBER, VOLKMANN u. A. füllen wir mittelst der Empfindungen der benachbarten Netzhauttheile die Lücke aus, und zwar so, wie es unserem Urtheil nach am einfachsten und wahrscheinlichsten ist, und wie es unseren Erfahrungen von den Gestalten der Dinge entspricht.

Richtung des Sehens.

Wir haben erfahren, dass wir die Richtung der Gesichtslinie, die mit der Stellung des Auges gegen den Kopf oder den ganzen Körper wechselt, im Allgemeinen richtig beurtheilen

und daraus richtige Schlüsse auf die Richtung der gesehenen Objecte ziehen können. Es beruht diese Fähigkeit, wie oben angedeutet, auf dem Muskelgefühl. Wir dürfen uns aber nicht vorstellen, dass wir dabei die Richtung unserer Gesichtslinie nach der wirklichen Stellung des Augapfels oder nach der von der Stellung abhängigen Verlängerung oder Verkürzung der Augenmuskeln beurtheilen. Verlagern wir den Augapfel, z. B. durch den Druck, so glauben wir Bewegungen der Objecte zu sehen, zum Beweise, dass wir uns keine richtige Vorstellung von der stattfindenden Lageveränderung unseres Auges oder von den dabei gleichzeitig hervorgerufenen Muskeldehnungen zu machen im Stande sind. Die Beobachtungen erweisen, dass wir die Richtung der Gesichtslinie nur beurtheilen nach der Willensanstrengung, durch die wir eine Aenderung in der Stellung des Auges hervorzurufen streben. Jedem solchen Willensimpulse entspricht als direct wahrnehmbare Folge eine Lageveränderung der Objecte im Sehfeld. In diesen Veränderungen haben wir eine Controle für den Erfolg des Willenseinflusses, und diese Controle des Erfolgs muss beständig stattfinden, wenn richtige Urtheile über die Richtung der Gesichtslinie und der fixirten Gegenstände gefällt werden sollen. Nach dieser Seite eintretende Täuschungen sind für die Auffassung der hier obwaltenden Verhältnisse sehr lehrreich. Hat man sich längere Zeit bemüht, ein bewegtes Object zu fixiren, so stellt sich Schwindel ein, es scheinen dann ruhende Objecte in der entgegengesetzten Richtung sich zu bewegen. Es beruht diese Scheinbewegung auf einer Fälschung unseres Urtheils über die zur Fixirung gehörigen Muskelgefühle. Nach Seite 888 scheinen einem in einem Wagen rasch Fahrenden sich die Gegenstände, an denen er vorüberfährt, in entgegengesetzter Richtung wie der Wagen zu bewegen. Will der Fahrende einen der Gegenstände am Wege fixiren, so muss er seine Augen rasch der Richtung des Wagens entgegen bewegen. Dadurch gewöhnt er sich, die zu diesem Zwecke ausgeübten Willensimpulse als überhaupt für die Fixation eines Objectes nöthig zu halten, und macht die entsprechenden Augenbewegungen nachher unbewusst auch bei der Fixation ruhender Objecte, die dadurch die Scheinbewegung annehmen. Analog ist die Erklärung des Gesichtsschwindels nach Drehbewegungen des Körpers, und das oben angeführte Phänomen, dass ein von einer Brücke aus einem rasch strömenden Fluss längere Zeit Entgegenblickender die Brücke und sich stromaufwärts bewegt zu sehen glaubt.

Auch noch bei dem in Beziehung auf den Sehact vollkommen ausgebildeten Auge ist also nur durch ununterbrochene Vergleichung mit den Resultaten der anderweitigen Sinneswahrnehmungen, vor Allem mit denen des Tastsinnes, eine genaue Orientirung vermittelst des Gesichtssinnes möglich. Wir haben es sonach mit keiner etwa angeborenen Fähigkeit zu thun, wenn wir das gesehene Object in die Richtung der Gesichtslinie verlegen, wir thun das in Folge einer wahren Erziehung, zu der die Stellung des Netzhautbildes an sich nichts beiträgt. An und für sich rufen die Gesichtsempfindungen keine Vorstellung von der Richtung des Gesehenen hervor; um solche Vorstellungen zu erzeugen, müssen erst mannigfache Erfahrungen aus dem Gebiete anderer Sinneswahrnehmungen hinzutreten. Unstreitig der wichtigste Sinn für die Ausbildung der Raumvorstellung ist der Tastsinn; nach den mit seiner Hülfe gewonnenen Resultaten unserer Erfahrung lernen wir die an sich unräumlichen Netzhautempfindungen deuten. Darin findet die Frage ihre Beantwortung, warum wir die Objecte aufrecht sehen trotz des verkehrten Netzhautbildes, wie wir schon oben diese Beantwortung andeuteten (S. 886).

Man hat gewöhnlich die Annahme gemacht, dass jedes Auge die gesehenen Objecte in die Richtung der oben definirten Richtungslinien der beiden Augen verlege. Nach den Beobachtungen Hering's muss diese Annahme wesentlich modificirt werden. Unser natürliches Sehen geschieht mit zwei Augen, und wir lernen unmittelbar aus der Erfahrung nur die Lage kennen, welche die gesehenen Objecte nicht zu einem unserer Augen, sondern zu beiden oder vielmehr zur Mittellinie unseres gesammten Körpers einnehmen. Wir sind durchaus nicht geübt, die verschiedenen Richtungen beider Augen von einander zu unterscheiden. Wir meinen nur mit einem Gesichtsorgane zu sehen, das wir uns in der Mitte zwischen beiden Augen als ein

imaginäres Cyklopenauge denken können. Dieses imaginäre einfache Auge ist auf den gemeinsamen Fixationspunkt beider Augen gerichtet, seine Raddrehung erfolgt nach denselben Gesetzen wie in den beiden Augen. Denken wir uns dann die Netzhautbilder aus einem der wirklichen Augen in das Cyklopenauge übertragen, in der gleichen Anordnung, in welcher sie sich dort finden, dann werden die Punkte des Netzhautbildes nach aussen projicirt in den Richtungslinien des imaginären Cyklopenauges.

In Bezug auf die Lokalisirung der entoptischen und subjectiven Wahrnehmungen gilt das Gesetz, dass jeder Eindruck auf die Netzhaut in denjenigen Theil des Gesichtsfeldes verlegt wird, wo ein äusseres Object erscheinen würde, welches passend gelegen wäre, durch sein Licht die entsprechenden Netzhautstellen zu beleuchten (HELMHOLTZ).

Wahrnehmung der Tiefendimension.

Das einzelne Auge belehrt uns zunächst nur über die Richtung, in welcher ein gesehener Punkt liegt (HELMHOLTZ). Zur Schätzung der Entfernung desselben vom Auge besitzt das einzelne Auge direct nur das Gefühl über seinen Accommodationszustand. Wenn sich der leuchtende Punkt in der Gesichtslinie, resp. Visirlinie hin- und herbewegt, so kann sich bei gleichmässigem Accommodationszustand Nichts an der Grösse des Zerstreuungskreises, der auf der Netzhaut entworfen wird, verändern. Aber auch diese Veränderung fehlt, wie wir sahen, gänzlich, so lange die Hin- und Herbewegung des betreffenden Punktes innerhalb der Grenzen der CZERMAK'schen Accommodationslinie vor sich geht.

Es wird, wie wir sahen, durch die Benutzung des einen Auges direct nur eine flächenhafte Raumanschauung vermittelt, zur Erkenntniss der Tiefendimension des Raumes ist die Benutzung der beiden Augen von wesentlichem Vortheil.

Im Allgemeinen lassen sich die Hülfsmittel, welche wir zur Beurtheilung der dritten Raumdimension besitzen, eintheilen in Vorstellung des Abstandes, die wir aus der Erfahrung über die uns schon anderweitig bekannte besondere Beschaffenheit der gesehenen Objecte entnehmen, und in Wahrnehmungen des Abstands, welche sich direct auf Empfindungen beziehen (HELMHOLTZ).

Die Vorstellungen über den Abstand gesehener Objecte sind von der Benutzung beider Augen zum Sehen, von dem Gefühle einer Accommodationsanstrengung, von Benutzung von Augenbewegungen oder Körperbewegungen vollkommen unabhängig. Zunächst kommen hier unsere Kenntnisse über die Grösse der gesehenen Objecte in Betracht. Je entfernter ein Gegenstand ist, desto kleiner, unter desto kleinerem Gesichtswinkel erscheint er. Wir können also aus der wechselnden Grösse des Netzhautbildchens, resp. des Gesichtswinkels eines Gegenstandes von bekannter Grösse, z. B. eines Menschen, die Entfernung, in der er sich von uns befindet, nach einiger Uebung sehr genau schätzen oder nach directer Messung des Gesichtswinkels berechnen, z. B. zu militärischen Zwecken. Bei Objecten, welche, wie Häuser, Bäume, Kulturpflanzen etc. grössere Schwankungen in der Durchschnittsgrösse zeigen als der Mensch (oder Hausthiere), gelingt dem entsprechend die Entfernungsschätzung oder Berechnung weniger genau. Ist uns über die wahre Grösse eines ent-

fernten Gegenstandes Nichts bekannt, so unterschätzen wir sie meist sehr bedeutend, wie Bewohner der Ebene die Höhe der Berge und die Entfernung innerhalb derselben für weit geringer anschlagen, als sie wirklich sind. Auch die Kenntniss der Form der gesehenen Objecte kann zur Schätzung ihrer Entfernung mit beigezogen werden, namentlich dann, wenn zwei Objecte sich zum Theil decken, woraus wir schliessen, dass das deckende uns näher liege als das gedeckte. Kennen wir aus Erfahrung an Körpern eine gewisse Regelmässigkeit, wie z. B. an einem Haus, einem Tisch, Cylinder etc., so genügt das schon, um uns den Eindruck der Körperlichkeit und scheinbares Hervortreten und Zurückweichen der einzelnen Theile desselben hervorzurufen. Dasselbe vermag in diesem Falle ein richtiges perspectivisches, namentlich gut schattirtes Bild, während die beste auch photographische Abbildung von Gegenständen, deren Form uns unbekannt ist, uns kaum eine annähernde Anschauung über ihre körperliche Form gewähren kann. Je nach ihrer Neigung gegen die einfallenden Strahlen zeigen die Flächen eines Körpers verschiedenartige Beleuchtung; der Schlagschatten, den er wirft, gibt uns Aufschluss, wie die beschatteten Körper zu ihm gelagert sind. So dient die Beleuchtung auch bei Beurtheilung der Entfernung eines gesehenen Gegenstandes. Für entfernte Gegenstände hilft ausser der eigentlichen Beleuchtung noch die Luftperspective mit. Unter Luftperspective versteht man die Trübung und Farbenveränderung der Bilder ferner Objecte wegen der unvollkommenen Durchsichtigkeit der vor ihnen liegenden Luftschichten. Die Farbenveränderung nimmt mit der Dicke der Luftschicht zwischen dem beobachteten Auge und dem Objecte zu. Sind die fernen Gegenstände dunkler als die vorliegende Luftschicht, wie z. B. ferne Berge, so erscheinen sie blau, sind sie heller, so erscheinen sie wie die untergehende Sonne roth. Die Durchsichtigkeit der Luft ist aber zu verschiedenen Zeiten, an verschiedenen Orten so schwankend, dass sie zahlreiche Urtheilstäuschungen über die Entfernung der gesehenen Objecte hervorruft. Die Klarheit der Luft im Hochgebirge, welche auch relativ ferne Gegenstände scharf gezeichnet und fast ohne Veränderung ihrer Farbe durch Luftperspective erscheinen lässt, betheiligt sich für die Bewohner von Tiefebenen mit dem oben angeführten Grunde, um ihnen die Grössen- und Entfernungsverhältnisse in den Bergen zu klein erscheinen zu lassen; erst fortgesetzte Uebung durch Ersteigung der Berge und durch Wandern in ihren Thälern bringt eine richtige Schätzung der Abstände zu Wege. Auch an der oben erwähnten Vergrösserung des Mondes am Horizonte hat die Luftperspective entschiedenen Antheil.

Es ist unzweifelhaft, und bei Kindern ist es durch Beobachtung leicht und sicher nachzuweisen, dass wir die Gesetze der Beleuchtung des Schlagschattens, der Lufttrübung, der perspectivischen Darstellung und Deckung verschiedener Körper, die Grösse der Menschen und Thiere etc., die wir zur Beurtheilung der Körperformen und Entfernungen benutzen, erst durch Erfahrung kennen gelernt haben und unsere Kenntniss durch Uebung verfeinern. Es liegt also jeder der auf diesen Erfahrungen begründeten Anschauungen über die räumlichen und körperlichen Verhältnisse der gesehenen Objecte ein Akt des Urtheils zu Grunde, aber es fehlt uns in den meisten Fällen davon jedes Bewusstsein. Die Associationen der Vorstellungen geschehen nicht bewusst und

nicht willkürlich, sondern ganz analog wie bei den unmittelbaren Wahrnehmungen wie durch eine äussere zwingende Macht, wie durch eine blinde Naturgewalt hervorgerufen, sie geben uns Anschauungen von der räumlichen Anordnung der Körper mit vollkommen sinnlicher Lebhaftigkeit; es ist das von der grössten Wichtigkeit für die allgemeine Beurtheilung unserer scheinbar objectiven Sinneseindrücke (Helmholtz).

Die zweite Klasse der Hülfsmittel, die wir zur Beurtheilung der dritten Raumdimension besitzen, sind wirkliche Wahrnehmungen des Abstandes. Diese beruhen auf dem Gefühl der Accommodationsanstrengung, auf der Benutzung von Bewegungen des Kopfes und des ganzen Körpers bei der Beobachtung, und auf dem gleichzeitigen Gebrauche beider Augen.

Schon oben wurde erwähnt, dass und warum die Accommodationsgefühle in relativ beschränktem Maasse Hülfsmittel zur Beurtheilung der Entfernung abgeben. Wund machte Versuche darüber, indem er mit einem Auge durch die Oeffnung eines feststehenden Schirmes nach einem vertikal ausgespannten Faden hinblickte. Ueber die absolute Entfernung konnten so gut wie keine Angaben gemacht werden. Eine Annäherung des Fadens an das Auge wurde deutlicher erkannt als eine Entfernung desselben, im ersten Falle kam die Zunahme der Accommodationsanstrengung zum Bewusstsein, mit Ermüdung der Accommodation trat wachsende Unsicherheit der Beurtheilung der Wahrnehmungen ein.

Unter all den bisher genannten Mitteln zur Schätzung der Entfernung steht an Sicherheit obenan die Vergleichung der **perspectivischen Bilder** eines Gegenstandes von verschiedenen Standpunkten aus. Eine solche Vergleichung ist sowohl mit einem Auge als mit Benutzung beider Augen ausführbar. Im ersteren Falle beobachten wir die perspectivische Verschiebung beim Fortbewegen des Kopfes und des Körpers; gebrauchen wir beide Augen, so entstehen gleichzeitig zwei perspectivisch verschiedene Bilder von demselben Gegenstande.

Einäugige Personen scheinen sich des Mittels der perspectivischen Verschiebung der Objecte bei Kopf- und Körperbewegungen vorzüglich zu ihrer Beurtheilung der Entfernung zu bedienen. Wenn wir uns vorwärts bewegen, so bleiben seitlich von uns gelegene ruhende Gegenstände hinter uns zurück, sie gleiten in unserem Gesichtsfelde scheinbar in entgegengesetzter Richtung, als je in welcher wir fortschreiten, an uns vorüber. Je näher die Gegenstände sich uns befinden, desto rascher ist diese Scheinbewegung, fernere Gegenstände zeigen sie auch, aber mit zunehmender Entfernung langsamer, sehr entfernte Gegenstände z. B. Sterne behaupten, so lange wir die Richtung unseres Körpers und Kopfes beibehalten, ruhig ihren Platz im Gesichtsfelde. Die scheinbare Geschwindigkeit der Winkelverschiebung der Gegenstände im Gesichtsfelde gestattet, da sie ihrer wahren Entfernung umgekehrt proportional ist, sichere Schlüsse auf die wahre Entfernung. Durch die gegenseitige Verschiebung, welche dabei die verschieden entfernten Gegenstände zeigen, wird uns ihre verschiedene Entfernung direct anschaulich. Die entfernteren Objecte bewegen sich im Vergleich mit den näheren scheinbar in der Bewegungsrichtung des Beobachters vorwärts, die näheren umgekehrt scheinbar rückwärts. Bekanntlich basirt die messende Bestimmung der Fixsternentfernungen (resp. Paral-

laxen auf derselben scheinbaren Verschiebung, wobei aber die Fortbewegung des Beobachters nicht durch seine eigenen Körperbewegungen, sondern durch die Bewegung der Erde um die Sonne besorgt wird.

Bei binocularem Sehen entwirft jedes Auge ein perspectivisches Bild des gesehenen Gegenstandes. Wegen des verschiedenen Standpunktes, den die beiden Augen gegenüber dem Objecte einnehmen, sind diese Bilder etwas von einander verschieden. Die Unterschiede sind dieselben, als ob wir den Gegenstand sich erst in dem einen Auge hätten abbilden lassen, und hätten dann das Auge fortgerückt um ebensoviel, als die beiden Augen von einander abstehen, die Differenzen sind sonach mit den oben geschilderten Veränderungen der Bilder durch perspectivische Verschiebung identisch. Auf diese Weise werden ganz ausserordentlich genaue sinnliche Anschauungen der Entfernung hervorgerufen. Bekanntlich beruht der Eindruck der stereoskopischen Abbildungen (cf. unten) auf diesem Principe.

Die absolute Entfernung eines binokular gesehenen Gegenstandes kann, wenn andere Momente zur Bestimmung fehlen, auch lediglich mittelst des Muskelgefühls ziemlich sicher geschätzt werden, welches die Konvergenz unserer auf den Gegenstand eingestellten Augen hervorruft. Helmholtz benutzte zu diesen Beobachtungen die sogenannten Tapetenbilder; Wund hat schon früher messende Versuche darüber angestellt. Auf einen schwarzen vertikal und verschiebbar aufgehängten Faden vor einem entfernten gleichmässig weissen Grund blickte er durch einen horizontalen, gegen den Faden hin etwas röhrenförmig verlängerten Schlitz mit beiden Augen, so dass er Nichts als einen Theil des Fadens sehen konnte. Die absolute Entfernung wurde immer kleiner geschätzt, als sie wirklich war. Je grösser die Entfernung gesehener Gegenstände ist, desto mehr sind wir überhaupt geneigt, dieselbe zu unterschätzen. Sehr viel genauer als die absoluten Entfernungen gelingt es auf diese Weise Entfernungsänderungen zu erkennen, die noch wahrgenommenen Aenderungen liegen an der Grenze des überhaupt Wahrnehmbaren.

Stereoskope. — Von je zwei zusammengehörigen stereoskopischen Bildern stellt das eine die Ansicht dar, wie sie das rechte, das andere die Ansicht, wie sie das linke Auge von dem abgebildeten Objecte bei directer Betrachtung erhalten würde. Die beiden Bilder sind also von etwas verschiedenen Gesichtspunkten aufgenommen, sie dürfen einander nicht gleich sein; verglichen mit den Bildern sehr weit entfernter Objecte, müssen die Bilder von näher liegenden in der Abbildung, welche dem Bilde des rechten Auges entspricht, um so weiter nach links, in der dem Bilde des linken Auges entsprechenden Abbildung dagegen um so weiter nach rechts verschoben sein, je näher die Objecte an den Beschauer heranrücken. Legen wir die beiden Abbildungen so auf einander, dass die Bilder unendlich entfernter Punkte sich decken, so werden die Bilder von näher gelegenen um so weiter auseinander fallen, je näher sie dem Beschauer sind. Diese mit der zunehmenden Annäherung an den Beschauer wachsende Distanz wird als stereoskopische Parallaxe bezeichnet, und zwar positiv, wenn die näheren Punkte für das rechte Auge nach links, für das linke nach rechts sich verschoben zeigen.

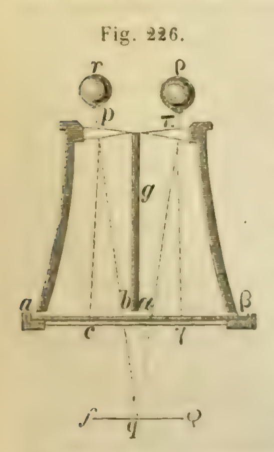
Solche stereoskopische Bilder geben uns dieselbe Anschauung der körperlichen Form, wie wir sie bei wirklicher Betrachtung des Gegenstandes selbst erhalten. Für die Betrachtung müssen die Bilder so gleichzeitig vor die beiden Augen gebracht werden, dass beiden die unendlich entfernten Punkte, die die Bilder darstellen, in der gleichen Richtung erscheinen. Legt man die beiden Bilder in der Art rechts und links neben einander, dass ihre zusammen-

gehörigen Punkte etwa um den Abstand der Knotenpunkte der beiden Augen des Beobachters von einander abstehen, und betrachtet sie mit parallel gerichteten Gesichtslinien, mit beiden Augen also in gleicher Richtung, so tritt die stereoskopische Täuschung ein. Wir sehen dann scheinbar drei Bilder, von denen das mittlere, mit beiden Augen gesehene, stereoskopisch erscheint, die seitlichen Bilder, von denen das linke nur mit dem rechten, das rechte nur mit dem linken Auge gesehen wird, erscheinen natürlich eben. Man hat Instrumente ersonnen, um dem Beobachter die Auffindung und Erhaltung der richtigen Augenstellung für das stereoskopische Sehen zu erleichtern, da dasselbe ohne Instrument einige Uebung voraussetzt. Für die Erzeugung der körperlichen Anschauung selbst sind diese Instrumente: Stereoskope ohne wesentlichen Vortheil.

Die Unterschiede der beiden Netzhautbilder, welche zur Wahrnehmung der Tiefendimension des Raumes führen, werden mit ausserordentlicher Genauigkeit von dem Auge aufgefasst. Die gewöhnlichen stereoskopischen Photographien zeigen nur bei aufmerksamer Betrachtung der Contouren vorn stehender Gegenstände die charakteristischen Unterschiede. Das Auge kann bei dem stereoskopischen Sehen noch Unterschiede machen, welche sonst kaum mit Anwendung künstlicher Messungsinstrumente aufgefasst werden können, was z. B. zu der bekannten Anwendung des Stereoskops zur Unterscheidung täuschend nachgeahmter Banknoten von den echten benutzt wird. Nach den Beobachtungen von Helmholtz geschieht die Vergleichung der Netzhautbilder beider Augen zum Zwecke des stereoskopischen Sehens mit derselben Genauigkeit, mit welchem die kleinsten Abstände (cf. oben) von einem und demselben Auge noch gesehen werden. Mit der zunehmenden Entfernung der Gegenstände nimmt unsere Fähigkeit, die Abstände richtig stereoskopisch zu erkennen, rasch ab, da für die Betrachtung sehr entfernter Gegenstände die menschlichen Augen nicht weit genug von einander abstehen, um zwei merklich verschiedene Netzhautbilder zu erhalten. Vergrössert man die Distanz der Augen künstlich, so erscheint nun auch von entfernten Gegenständen das Relief deutlicher. Zu diesem Zwecke dient das Telestereoskop.

Wheatstone war der erste, welcher ein Stereoskop baute. Das Wesentliche an dem Instrumente sind zwei nahe neben einander stehende, unter 45° gegen den Horizont geneigte Spiegel, deren spiegelnde Flächen nach oben gewendet sind. Die beiden Abbildungen, welche stereoskopisch gesehen werden sollen, werden in einiger Entfernung von den Spiegeln, parallel mit der Meridianebene des Kopfes des Beschauers, aufgestellt. Jedes der beiden Augen des Beobachters sieht auf einen der geneigten Spiegel, von denen jeder seine Abbildung in der Weise in das entsprechende Auge reflectirt, als läge das Bild senkrecht unter dem Auge. Der Eindruck für den Beobachter ist dann so, als sähe er an der betreffenden Stelle nicht die beiden Abbildungen, sondern den räumlich ausgedehnten Gegenstand derselben selbst. Durch die Reflexion im Spiegel wird dabei rechts und links verkehrt, so dass die stereoskopisch zu sehenden Bilder negative Parallaxe haben müssen. Verbreiteter als das eben genannte Instrument, ist das Stereoskop von Brewster. Es besteht der Hauptsache nach aus zwei Prismen mit convexen Flächen, d. h. den beiden Hälften einer dicken Convexlinse von 0,18 Meter Brennweite, welche die gleiche optische Wirkung haben, als hätte man eine Convexlinse mit einem ebenen Prisma verbunden. Diese Prismen sind mit ihren Schneiden gegen einander gekehrt, je ein Auge blickt durch ein Prisma. Die beiden stereoskopisch zu sehenden Abbildungen befinden sich neben einander auf demselben Blatte. Jedes Auge blickt durch das Prisma auf die für das Auge berechnete Abbildung, während eine Scheidewand jedes Auge hindert, die für das andere bestimmte Abbildung zu sehen. Die senkrecht von den beiden Abbildungen gegen die Prismen verlaufenden Strahlen werden von diesen so divergent gemacht, als kämen sie von einem gemeinsamen, in der Mitte zwischen beiden

Fig. 226.



Bildern etwas weiter als diese entfernten Orte her, für den das Auge sich accommodiren kann. An diesem Orte erscheint dann das körperliche Bild. Das Ganze ist compendiös in einen passenden Holzkasten eingeschlossen, in welchen das Licht meist von der Langseite her einfällt, für transparente Bilder tritt es von unten (hinten) her durch eine mattgeschliffene Glastafel, auf welcher die Bilder liegen. Am auffallendsten sind die Wirkungen des Stereoskops bei Zeichnungen, welche Körper, z. B. Krystallgestalten, nur im Umriss darstellen, selbst sehr verwickelte derartige Darstellungen, die ohne Stereoskop kaum verständlich sind, erscheinen mit seiner Hülfe in deutlich körperlicher Form. Am täuschendsten wirken die photographischen Abbildungen, bei denen zur richtigen Zeichnung auch noch die vollkommen richtige Schattirung hinzukommt, welche mit Stift oder Pinsel niemals in dieser Gleichmässigkeit ausgeführt werden kann.

Ueber die Genauigkeit des stereoskopischen Sehens hat Dove ein Beispiel gegeben. Kombinirt man zwei mit demselben Stempel, aber aus verschiedenem Metall geschlagene Medaillen stereoskopisch, so erscheint das körperliche Bild nicht eben, sondern gewölbt und schräg liegend. Der Grund liegt darin, dass die Metalle nach dem Prägen sich etwas ungleichmässig wieder ausdehnen, wodurch Grössenunterschiede entstehen, die, so gering und bei gewöhnlicher Vergleichung unwahrnehmbar sie sind, doch auf diesem Wege zur Wahrnehmung kommen. Es gehört fast zu den Dingen der Unmöglichkeit, wenn in einer Buchdruckerpresse derselbe Satz von Buchstaben zweimal gesetzt wird, die Abstände der Buchstaben in beiden Fällen absolut gleich gross zu machen. Kombinirt man daher stereoskopisch z. B. die entsprechenden Blätter aus einer ersten und einer unverändert gedruckten oder nachgedruckten zweiten Auflage, so scheinen einzelne Worte und Buchstaben hinter den anderen zu liegen, während zwei vollkommen gleiche Blätter desselben Drucks eben erscheinen. Doch können sie in Folge von Unterschieden, veranlasst durch ungleichmässige Befeuchtung oder Zerrung auch ein gewölbtes oder schräg liegendes stereoskopisches Bild geben. Die stereoskopische Unterscheidung falscher von wahren W e r t h p a p i e r e n beruht auf dem gleichen Principe. Es ist unmöglich, die Abstände der Buchstaben in der Copie absolut genau gleich denen im Original zu machen, diese Unterschiede zeigen sich im Stereoskop als Unebenheiten oder Hervortreten einzelner Worte und Buchstaben. Die echten Werthpapiere werden meist mit verschiedenen Druckplatten gedruckt, die jeder einzelnen Platte entsprechenden Drucke liegen, stereoskopisch gesehen, meist in verschiedenen Ebenen, so dass das Stereoskop dadurch Aufschluss geben kann, wie viele Druckplatten zum Druck Verwendung gefunden haben. Die Kontrole gleicher Maassstäbe auf stereoskopischem Wege stützt sich auf analoge Verhältnisse. Auch von Himmelskörpern, z. B. vom Mond, kann man stereoskopisch zu kombinirende Bilder erhalten. Man photographirt zu diesem Zwecke den Mond in zwei verschiedenen Monaten, in Momenten, in denen die Beleuchtung durch die Sonne dieselbe ist. Die geringen Veränderungen seiner Stellung gegen die Erde genügen dann, ihn nicht nur in Kugelgestalt, sondern auch, wenigstens zum Theil, seine Ringgebirge im natürlichen Relief erscheinen zu lassen.

Wettstreit der Sehfelder.

Sind beide Gesichtsfelder mit so verschiedenartigen Formen gefüllt, dass sie keine stereoskopische Verbindung zu dem Bilde eines Körpers erlauben, so erblickt man nach Helmholtz im Allgemeinen beide Bilder gleichzeitig und im Gesichtsfelde einander superponirt. Meist aber überwiegt in einzelnen Theilen des gemeinsamen Gesichtsfeldes mehr das eine Bild, in anderen mehr das andere, und zwar kann das insofern wechseln, dass da, wo eine Zeit lang ausschliesslich Theile des einen Bildes sichtbar waren, nun Theile des anderen hervortreten und die ersteren verdrängen.

Dieser Wechsel wird als W e t t s t r e i t d e r S e h f e l d e r bezeichnet, er lässt Theile der beiden Bilder bald neben, bald nach einander sich gegenseitig verdrängen. Helmholtz gibt an, dass er im Stande sei, willkürlich seine Aufmerksamkeit bald dem einen, bald dem anderen

monokularen Sehfelde zuzuwenden, wobei dann die Eindrücke des gerade unbeachteten vollkommen verschwinden. Diese Thatsache ist wichtig, weil sie lehrt, dass der Inhalt jedes einzelnen Sehfeldes, ohne durch organische Einrichtungen mit einander verschmolzen zu sein, zum Bewusstsein gelangt, und dass die Verschmelzung beider Sehfelder in ein gemeinsames Bild, wo sie vorkommt, also ein psychischer Akt ist (Helmholtz). Am bekanntesten sind die Erscheinungen des Wettstreits beider Sehfelder, wenn beide Augen verschiedenfarbige oder verschieden erleuchtete Felder betrachten. Hält man von zwei möglichst gleich hellen farbigen Gläsern, z. B. ein rothes und ein blaues, das eine vor das rechte, das andere vor das linke Auge, so erblickt man die fixirten Objecte fleckig roth und blau gefärbt, und zwar in einem unruhigen, besonders Anfangs sehr lebhaften Farbenwechsel, endlich stumpft sich die Empfindlichkeit für die Farben ab und die Färbung des Gesichtsfeldes wird eine mehr gleichmässige, unbestimmt aber zeitweise immer noch farbig wechselnd grau. Die Ansichten sind übrigens über den Erfolg der binokularen Farbenmischung getheilt. Während Helmholtz u. A. hierbei nur den Wettstreit der Sehfelder wahrnehmen, sehen Brücke, Panum, Hering, W. von Bezold, W. Dobrowolsky u. A. die Mischfarbe. Die binokulare Farbenmischung führt nach Letzteren zu denselben Ergebnissen wie die Mischung auf dem Farbenkreisel. Dove und Reynault konnten sogar auf diese Weise die Komplementärfarben binokular zu Weiss vereinigen. Die Schwierigkeit, welche durch passend gewählte, dem Auge vorgesetzte Convex- oder Concavgläser beseitigt werden kann, liegt darin, dass das Auge verschiedene Sehweiten für verschiedene Farben besitzt, die beiden (optisch gleich brechenden) Augen können sonach nicht ohne Weiteres gleichzeitig für zwei verschiedene Farben genau fixiren. Besser als mit verschiedenfarbigen Gläsern gelingen diese Farbenmischungen im Stereoskop. Man betrachtet in ihm zwei verschiedenfarbige Tafeln, deren eine Seite rechts z. B. roth, die andere, die linke, blau ist; bei der einen Tafel ist aber das rothe Feld breiter, bei der anderen das blaue. Bei der stereoskopischen Kombination erscheint die eine Seite des einfach erscheinenden Objectes roth, die andere blau, in der Mitte tritt aber eine Farbenmischung ein, wo sich roth und blau decken, erscheint violett (Brücke). Die binokulare Farbenmischung scheint der Young-Helmholtz'schen Hypothese zur Stütze zu dienen, da nach ihr die Mischfarbe nichts anderes ist, als die Summe dreier verschiedenartiger, sich sonst nicht beeinflussender Eindrücke, je einer auf eines der specifisch verschiedenen farbenpercipirenden Organe. Es brauchen also die für eine Mischfarbenempfindung gleichzeitig zu reizenden Farbenempfindungsorgane nicht einmal in demselben Auge zu liegen; die Leitung kann für das Zustandekommen der Farbenmischung nicht nur in verschiedenen Fasern desselben Opticus, sondern sogar in zwei verschiedenen Opticusstämmen stattfinden, die Mischung selbst kommt erst im Centralorgane zu Stande.

Der Glanz stereoskopischer Objecte. — Lässt man in dem einen von zwei stereoskopisch zu kombinirenden Bildern eines Körpers eine Fläche weiss, die man in dem anderen Bilde schwarz macht, oder gibt man ihnen verschiedene Farben, so erscheinen solche Flächen bei der stereoskopischen Betrachtung glänzend. Der Grund scheint der zu sein, dass uns Flächen glänzend erscheinen, die eine mehr oder weniger regelmässige spiegelnde Reflexion zeigen, wobei es sich oft trifft, dass eines unserer Augen sich in der Richtung des reflectirten Strahles befindet, das andere nicht, dem ersten erscheint dann die Fläche stark beleuchtet, dem anderen schwach (Helmholtz). Einen analogen Eindruck des Glanzes muss es hervorbringen, wenn wir im Stereoskope eine Fläche mit beiden Augen verschieden stark erleuchtet sehen. Ebenso kann es vorkommen, dass ein glänzender, von farbigen Objecten umgebener Körper dem einen Auge reflectirtes Licht von einer Farbe, dem anderen von anderer Farbe zusendet, so dass er beiden Augen verschieden gefärbt erscheint, was bei einem matten Körper niemals der Fall sein kann. Wenn im stereoskopischen Sehen das eine Auge den Körper anders gefärbt sieht als das andere, so kann dieser Eindruck also nur als Glanz gedeutet werden (Helmholtz). Ziemlich analog sind die Erklärungen des Glanzes von Dove und Brücke.

Fehler in der Beurtheilung von Linienrichtungen beim Sehen mit zwei Augen und Veränderung der Kopfrichtung hat Hering aufgefunden. Nach seinen Beobachtungen

erscheinen diejenigen Linien vertikal zur Visirebene, welche sich auf solchen Meridianen des Auges abbilden, welche bei der Stellung des Auges parallel der mittleren Sehrichtung wirklich zur Visirebene vertikal sein würden (HELMHOLTZ).

Die Lage aller Linien, welche durch den Fixationspunkt gehen, aber nur nahezu senkrecht zu der mittleren Sehrichtung sind, deuten wir nach demselben Principe. Zeichnet man auf einer ebenen Fläche einen Stern aus einer Anzahl von Linien, die sich in einem Punkte schneiden, und fixirt diesen Punkt mit nach oben gerichtetem Blick, so scheinen die nach oben gerichteten Strahlen des Sterns in einer concaven, die nach unten gerichteten in einer convexen Kegelfläche zu liegen; umgekehrt, wenn man den Kreuzungspunkt mit nach unten gerichtetem Blicke fixirt. Der Theorie aus dem oben zuletzt angeführten Gesetze zufolge liegen die betreffenden Linien scheinbar in einer Kegelfläche zweiten Grades, deren Spitze im Fixationspunkt liegt, die ferner durch die beiden Blicklinien geht, und deren Durchschnitt mit der durch die Mittelpunkte der Augen senkrecht zur Visirebene gelegten Ebene eine Ellipse ist, deren vertikale Axe etwas grösser ist als die horizontale. v. RECKLINGHAUSEN bestimmte durch Beobachtung die Lage solcher Linien, die zur mittleren Sehrichtung bei gehobenem oder gesenktem Blick senkrecht erscheinen. Der Theorie nach, welcher die Messungen gut entsprechen, liegen auch diese Linien in einer durch den Fixationspunkt und die Blicklinien gehenden Kegelfläche zweiten Grades, die v. RECKLINGHAUSEN Normalfläche benennt, weil in ihr die zur mittleren Sehrichtung scheinbar normalen Linien liegen. Sie fällt bei Augen, welche keine Abweichung des scheinbar vertikalen Meridians haben, für Linien, die durch den Fixationspunkt gehen, mit der Horopterfläche zusammen.

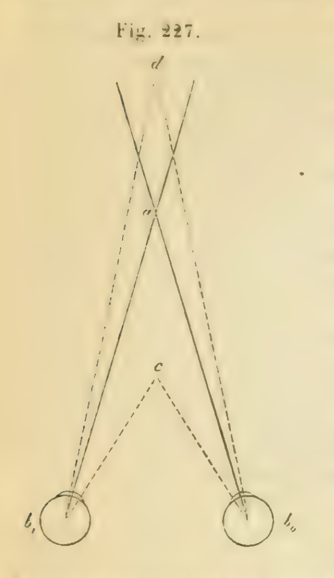
Das binokulare Doppeltsehen.

Von der Ungleichheit der Anordnung der Objecte in unseren beiden Gesichtsfeldern können wir uns schon bei jedem Blick durch das Fenster überzeugen. Schliessen wir, ohne die Stellung des Kopfes zu verändern, abwechselnd das eine und das andere Auge, so bemerken wir, dass z. B. neben dem Fensterkreuz sich dem rechten Auge die Aussicht noch etwas weiter nach links hin ausdehnt als dem linken. In dem Gesichtsfeld des rechten Auges grenzen an das Fensterkreuz andere Objecte an als in dem des linken. Durchmustern wir also unser binokulares Gesichtsfeld genau, so bemerken wir, dass das Fensterkreuz darin zweimal vorkommt, an die vor dem Fenster sichtbaren Gegenstände in doppelter Weise angrenzend, man sieht das Fensterkreuz also doppelt. Diese Beobachtung, dass bei der Fixation ferner Objecte ein dazwischen stehender naher Gegenstand doppelt, an zwei verschiedenen Stellen des gemeinsamen Gesichtsfeldes, erscheint, gelingt leicht, wenn man einen Finger senkrecht nahe vor die Augen hält. Fixirt man dann entferntere Gegenstände, so erscheint der näher gelegene Finger doppelt. Benutzt man als zweites ferneres Fixationsobject wieder einen Finger der anderen Hand, so kann man beliebig bald den näheren, bald den entfernteren Finger doppelt oder einfach sehen, je nachdem man mit der Fixation der Finger abwechselt. Zu der Wahrnehmung der Doppelbilder gehört übrigens schon einige Uebung im indirecten Sehen, da im Allgemeinen die Doppelbilder der Natur der Sache nach weniger deutlich erscheinen müssen als die einfachen.

Fixiren die beiden Augen b_1 und b_0 den Punkt a, so erscheint er einfach. Der den Augen nähere Punkt c liegt für das Auge b_1 rechts, für das Auge b_0 links von der Gesichtslinie, im Gesichtsfelde liegt c also für b_1 rechts, für b_0 links von a, im gemeinsamen Gesichtsfelde

kommt es also sowohl rechts als links von a vor, erscheint also doppelt, und zwar nach der gebräuchlichen Bezeichnung in ungleichnamigen Doppelbildern, d. h. das scheinbar rechts liegende Bild von a gehört dem linken, das scheinbar links liegende dem rechten Auge an. Ein Punkt, der entfernter als der Fixationspunkt liegt, erscheint dagegen in gleichnamigen Doppelbildern, d. h. das rechtsliegende Doppelbild gehört dem rechten, das linksliegende dem linken Auge an.

Fig. 227.



Ein Punkt erscheint auch in Doppelbildern, wenn seine Bilder in den Gesichtsfeldern beider Augen zwar gleichen Abstand von dem fixirten Punkte, aber hinreichend verschiedene Richtung haben, dass der Richtungsunterschied deutlich bemerkbar wird. Der Punkt c wird also doppelt gesehen, wenn er z. B. höher oder tiefer und gleichzeitig dem Auge etwas näher liegt als der fixirte Punkt a.

Im Allgemeinen erscheinen alle diejenigen Objecte doppelt, deren scheinbare Lage im Gesichtsfelde in Beziehung auf den Fixationspunkt hinreichend verschieden erscheint, dass ihre Verschiedenheit dem Augenmaasse auffällig wird. Objecte, welche im Gesichtsfelde scheinbar gleiche Lage gegen den Fixationspunkt haben, werden dagegen einfach gesehen (Helmholtz).

Diejenigen Punkte, welche in beiden Sehfeldern scheinbar gleiche Lage zum Fixationspunkt haben, deren Bilder im gemeinsamen Gesichtsfeld sich also decken, so dass sie nur einfach gesehen werden, werden nach Helmholtz als Deckpunkte oder correspondirende Punkte bezeichnet, mit einem älteren Ausdruck als **identische Punkte**. Die sich nicht deckenden Punkte nennt man disparate Punkte. Da das Sehfeld jedes Auges seine nach aussen projicirte Netzhaut ist, da jedem Punkte in jedem Sehfelde ein Punkt der Netzhaut entspricht, so kann man sich auch der Benennung Deckpunkte, correspondirende oder identische Punkte der beiden Netzhäute bedienen.

Die Fixationspunkte der beiden Sehfelder normaler Augen sind correspondirende Punkte. Dem Fixationspunkt im Sehfeld entspricht die Mitte der Fovea centralis der Netzhaut. Die Mittelpunkte der Fovea centralis sind also identische Netzhautpunkte. Ein Objectpunkt, welcher sich gleichzeitig auf den beiden Centren der Netzhautgruben abbildet, wird einfach gesehen. Dieser Satz erleidet nur bei gewissen Fällen des Schielens eine Ausnahme. Johannes Müller definirte die Lage der übrigen identischen Netzhautpunkte nach der der Hauptsache nach richtigen Regel, dass sie von der Mitte der Netzhäute in gleicher Richtung gleichweit ablägen.

Gehen wir auf die Verhältnisse im Einzelnen ein, so ergibt sich vor Allem, nach den Versuchen von Volkmann, dass die Netzhauthorizonte beider Augen einander correspondiren. Es sind das diejenigen Meridiane beider Augen, welche bei paralleler Richtung derselben in der Primärstellung mit der Visirebene zusammenfallen*). Auch die zu den Netz-

*) Bei kurzsichtigen Augen trifft diese Definition jedoch nicht vollkommen ein, nach den

hauthorizonten scheinbar vertikalen Meridiane decken sich. Sie stehen auf jenen in Wahrheit nicht vollkommen senkrecht, im emmetropischen Auge divergiren sie etwas nach oben und konvergiren nach unten. In diesen scheinbar vertikalen Decklinien sind die Punkte identisch, welche gleichweit von den Netzhauthorizonten abliegen. In den Netzhauthorizonten selbst sind entsprechend die Punkte identisch, welche gleichweit vom Fixationspunkt abstehen. Schliesslich sind alle diejenigen Punkte beider Sehfelder identisch, welche gleiche und gleichgerichtete Abstände von den genannten scheinbar horizontalen und vertikalen identischen Linien haben.

Als Erklärung der Identität der Netzhautpunkte wurden zwei verschiedene Meinungen laut. Einerseits nimmt man an, dass die zu den identischen Punkten gehörigen Fasern des Sehnerven im Gehirne selbst oder noch vor ihrem Eintritt in dasselbe, nämlich im Chiasma nervorum opticorum, in der Weise anatomisch in Verbindung gebracht seien, dass ihre Erregung nur einen einzigen Eindruck zum Bewusstsein bringen könne. In der Sehnervenkreuzung geht, nach der bisher geltenden Lehre, die Hälfte der Fasern jedes Tractus opticus einerseits auf den Sehnerven der andern Seite über, und diese Fasern sind in den Netzhäuten selbst so vertheilt, dass die ursprünglich einem Tractus opticus zugehörigen Fasern die identischen Hälften der beiden Netzhäute versorgen. Nach dem eben Gesagten ist die rechte Hälfte der einen Netzhaut identisch mit der rechten Hälfte der anderen, ebenso correspondiren die beiden linken Netzhauthälften. Es sind Fälle beschrieben von sogenannter »gleichnamiger Hemiopie«, bei welcher in beiden Augen gleichnamige, also identische Netzhauthälften das Sehvermögen verloren haben, während die beiden anderen Hälften noch functioniren. Man hat solche Fälle für die Anschauung der anatomischen Verknüpfung der identischen Punkte zu verwerthen gesucht unter der Annahme, dass in solchen Fällen der entsprechende Tractus opticus irgendwie leistungsunfähig geworden ist. Eine Anzahl neuerer Forscher: Brown-Séquard, Mandelstamm, Michel, behaupten nun dagegen eine totale Kreuzung im Chiasma des Menschen. Brown-Séquard suchte diese Thatsache auf experimentellem Wege, die beiden letztgenannten auf diesem und durch anatomische Untersuchung zu stützen. Gudden und M. Reich sprechen sich dagegen mit aller Entschiedenheit für unvollständige Vereinigung beim Hunde und Menschen aus auf Grund experimenteller und anatomischer, wie es scheint, unanfechtbarer Untersuchungen.

Die andere, neuerdings namentlich von Helmholtz gestützte Ansicht sieht in der Verknüpfung zweier Netzhautreizungen zu einem Erfolg in unserem Bewusstsein nichts Angeborenes, sondern etwas Erlerntes. Schon mehrfach sahen wir, dass wir die Sinnesempfindungen nur als Zeichen ansehen dürften, deren Deutung etwa wie die der Schriftzeichen erlernt werden muss. Fast alle äusseren Dinge erregen gleichzeitig eine Anzahl verschiedener Nervenfasern unseres Körpers, so dass alle uns ohne weitere Analyse einfach erscheinenden Sinnesempfindungen aus einer grösseren oder kleineren Anzahl von Sinneseindrücken zusammengesetzt sind, welche wir in unserem Bewusstsein erst so verknüpfen, dass wir sie auf ein einziges Subject beziehen. Wir hören einen Ton mit zwei Ohren, wir riechen denselben Geruch mit zwei Nasenlöchern, wir fühlen einen Gegenstand einfach, wenn wir ihn in der Hand halten, obwohl hierbei Gruppen anatomisch getrennter Nervenfasern erregt werden. Es hängt also im Allgemeinen vielleicht ausschliesslich von der Erziehung des Sinnesorganes, von der Erfahrung ab, ob wir eine häufig wiederkehrende Gruppe von Empfindungen als das sinnliche Zeichen eines oder mehrerer Objecte deuten. Auf den Fixationspunkten, auf den übrigen identischen Linien und Punkten werden beim normalen Gebrauch der Augen immer Bilder derselben Objecte dargestellt, von deren Einheit wir uns durch den Tastsinn jeden Augenblick überzeugen und unser Bewusstsein dahin erziehen können.

Bilden sich auf identischen Netzhautpunkten verschiedene Gegenstände ab, so erscheinen

---

Beobachtungen Volkmann's liegt bei diesen die äussere Seite jedes Netzhauthorizontes etwas tiefer als die innere.

sogleich Doppelbilder, wie z. B. wenn wir durch seitlichen Druck das eine Auge verlagern, oder wenn durch Augenmuskellähmung das gleichzeitige Fixiren eines Gegenstandes nicht mehr möglich ist, wie beim Schielen. Es sind aber auch Fälle beschrieben an schielenden Augen mit meist ziemlich gleicher Sehschärfe, bei denen die Fixationspunkte nicht mehr identisch waren. Es correspondirte dem Centrum der Netzhautgrube des einen eine mehr nach innen oder aussen gelegene Stelle der Netzhaut des anderen Auges. Solche Schielende sehen einfach trotz der Stellungsverschiedenheit ihrer Augen. Doch ist dieser Grund des Einfachsehens Schielender viel seltener als der, welcher besonders bei verschiedener Sehschärfe der beiden Augen vorkommt, dass nämlich das Netzhautbild des einen Auges (meist des schwächeren) gegen das des anderen vernachlässigt wird, ähnlich als hätte man durch eine monokulare Brille (Zwicker) nur eines der kurzsichtigen Augen fernsehend gemacht, wobei das Bild des anderen sofort übersehen wird. In dem Falle, dass sich ein neues Identitätsverhältniss der schielenden Augen gebildet hat, wird der früher Schielende nach einer gelungenen Schieloperation nun wenigstens im Anfang Doppelbilder sehen. Nach einiger Zeit soll sich durch Gewöhnung wieder das normale Identitätsverhältniss herstellen. Wie sehr diese Erfahrungen an Schielenden für die zweite Ansicht über die Ursache der Identität sprechen, leuchtet ohne weitere Auseinandersetzung ein.

Horopter.

Unsere Betrachtung beschäftigte sich bisher mit der Lage der identischen Punkte in den beiden Sehfeldern, resp. Netzhäuten. Wir haben noch die Lage derjenigen Punkte des äusseren Raumes selbst zu bestimmen, welche sich auf identischen Punkten der Netzhäute abbilden und daher einfach gesehen werden, die Gesammtheit dieser Punkte des Raumes wird als Horopter bezeichnet. Die Bezeichnung scheint zuerst von AGUILONIUS gebraucht worden zu sein. Nach seiner Theorie sollten die Gesichtsbilder immer auf eine gewisse durch den Fixationspunkt gehende Ebene, den Horopter, projicirt werden. Die Gesichtsbilder sollten einfach oder doppelt erscheinen, je nachdem ihre Projection einfach oder doppelt sei. Als man die Lage der identischen Punkte näher erkannt hatte, konnte man den Horopter im Allgemeinen nicht mehr für eine Ebene halten. J. MÜLLER lehrte, dass sein Durchschnitt mit der Visirlinie ein durch den Fixationspunkt und die beiden Augen gehender Kreis sei (MÜLLER's Horopterkreis). Nach HERING's Beweis ist der Horopter im Allgemeinen eine Linie. Durch die Arbeiten von HELMHOLTZ und HERING, an welche sich die von HANKEL u. A. anschliessen, wurde das rein mathematische Problem des Horopters gelöst.

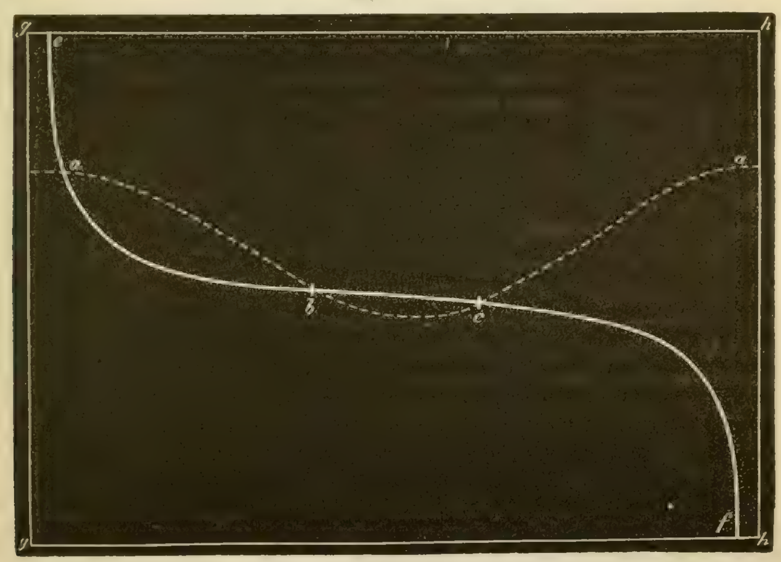
Für die Primärstellung der Augen und für den Fall, dass der als Ausgangspunkt gewählte Fixationspunkt in der Medianebene des Kopfes liegt, ist die Construction des Horopters eine sehr einfache. Legt man dann durch den Fixationspunkt und durch die beiden Drehpunkte der Augen einen Kreis und denkt sich nun den Fixationspunkt auf eine andere Stelle der Peripherie dieses Kreises verlegt, so müssen wir beide Augen um eine gleiche Winkelgrösse nach der betreffenden Seite dem neuen Fixationspunkt zuwenden, er wird daher beiden Augen um gleichviel zur Seite von dem primären einfach gesehenen Fixationspunkt gerückt und daher auch einfach erscheinen. Dieser Beweis kann für jeden beliebigen Punkt desselben Kreises ebenso geführt werden, stets sind nämlich die Winkel, um welche die Hauptrichtungslinien von dem alten bis zu dem neuen Fixationspunkt gedreht werden als Peripheriewinkel auf demselben Bogen einander gleich. Alle Punkte dieses Kreises, des MÜLLER'schen Horopterkreises, werden sonach einfach gesehen. Errichten wir auf dem Fixationspunkt eine senkrechte Linie auf die Peripherie des Kreises, so müssen, um einen beliebigen Punkt dieser Linie zu fixiren, die beiden Augen dieselbe Bewegung nach auf- oder abwärts machen, er wird daher für beide Augen in der gleichen Entfernung von dem primären Fixationspunkt, also einfach erscheinen. Alle Punkte dieser Linie müssen sonach ebenfalls

einfach gesehen werden. In diesem Falle ist somit der Horopter ein Kreis und eine dessen Peripherie senkrecht schneidende Gerade.

Nach Helmholtz' Definition ist der Horopter im Allgemeinen eine Curve doppelter Krümmung, welche als die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades (Hyperboloide mit einer Mantelfläche, Kegel oder Cylinder) angesehen werden kann. Die Schnittlinie zweier Flächen zweiten Grades ist im Allgemeinen vom vierten Grade, d. h. kann von einer Ebene in je 4 Punkten geschnitten werden. In dem uns vorliegenden Falle haben aber die beiden schneidenden Flächen eine gerade Linie gemein, welche nicht Horopter ist, und der Rest der Schnittlinie ist eine Curve dritten Grades, d. h. eine solche, welche von einer beliebigen Ebene nur in drei Punkten geschnitten werden kann. Diese Curve hat die bemerkenswerthe Eigenschaft, dass, wenn man durch einen festen Punkt derselben einerseits, und durch alle anderen Punkte der Curve andererseits gerade Linien legt, diese Linien einen Kegel zweiten Grades bilden. Wählt man als Spitze des Kegels einen unendlich entfernten Punkt der Curve (dieselbe läuft nämlich mit mindestens zwei Aesten in das Unendliche hinaus), so wird der Kegel ein Cylinder, dessen Basis eine Curve zweiten Grades ist.

Um eine Anschauung von der Gestalt einer solchen Curve dritten Grades zu erhalten, denken wir uns dieselbe, nach Helmholtz, auf eine Cylinderfläche gezeichnet und diese auf

Fig. 228.



die Ebene abgerollt. Die ausgezogene Curve $eabcf$ stellt dann ihre Form dar. Die punktirte Curve sei die Schnittlinie der Visirebene mit dem Cylinder, sie schneidet die Curve dritten Grades in drei Punkten a, b, c; letztere läuft an zwei Stellen e und f in das Unendliche aus, indem sie sich assymptomisch der geraden Linie gg oder der mit dieser identischen hh nähert. Um sich die körperlichen Verhältnisse anschaulich zu machen, rollt man das Papier mit den beiden Curven zu einem entsprechenden Cylinder wieder zusammen. Betrachten wir die Curve dritten Grades als Horoptercurve, so geht sie durch den Mittelpunkt der Visirlinie in beiden Augen. In der nachstehenden Figur sind b und c die Orte der beiden Augen, a der Fixationspunkt; das Stück bc fällt als im Innern des Kopfes liegend weg, da es dem gewöhnlichen Sprachgebrauch nach also nicht zum eigentlichen Horopter gehört. Der eigentliche Horopter besteht danach aus zwei vollkommen getrennten Zweigen eb und fc. Die Curve in ihrer Gesammtheit, wie sie bei der mathematischen Behandlung betrachtet zu werden pflegt,

wird als Horoptercurve von denjenigen Theilen derselben unterschieden, welche wirklich einfach gesehen werden können, und für die ausschliesslich der Name Horopter oder Punkthoropter gebraucht wird.

Wenn die beiden Netzhauthorizonte gleiche, aber nach entgegengesetzten Seiten gekehrte Winkel mit der Visirebene bilden, während der Fixationspunkt in endlicher Entfernung liegt, fällt die Horoptercurve mit ihrer geraden Assymptotenlinie *gg* und der zu einer ebenen Curve zweiten Grades zusammengelegten Linie *aa* zusammen. Die beiden getrennten Zweige der Horoptercurve stossen dann in diesem Schnittpunkte zusammen. Die Grundbedingung dazu ist erfüllt, wenn der Fixationspunkt entweder in der Medianebene des Kopfs oder in der Primärlage der Visirebene liegt. Im ersten Fall liegt der Fixationspunkt auf der geraden Horopterlinie, im zweiten auf dem Kegelschnitt, der unter diesen Bedingungen ein Kreis wird. Müller's Horopterkreis. Liegt der Fixationspunkt sowohl in der Medianebene des Kopfs als auch in der Primärlage der Visirebene, so schneiden sich in ihm die gerade Horopterlinie und der Kreis.

Liegt sowohl der Fixationspunkt in der Medianebene, aber in unendlicher Entfernung und, wie gewöhnlich bei emmetropischen Augen, die Netzhauthorizonte in der Visirebene, so ist für diesen einzigen Fall der Horopter eine Fläche, und zwar eine Ebene, die für emmetropische Augen nahezu mit der Fussbodenebene des stehenden Beobachters zusammenfällt, bei Kurzsichtigen dagegen meist in grösserer Entfernung liegt. Es leuchtet sogleich ein, wie wichtig dieses Verhältniss ist; wir bekommen dadurch eine genaue Anschauung des Bodens, auf dem wir gehen, im indirecten Sehen, wenn wir, wie gewöhnlich unter Betrachtung eines entfernt vor uns liegenden Gegenstandes vorwärts schreiten.

Sollen nicht, wie bei den bisherigen Betrachtungen angenommen wurde, Punkte, sondern Linien einfach gesehen werden, so genügt es, das die Linien beider Netzhäute, auf denen ihr Bild erscheint, identisch seien, ohne dass gerade Punkt für Punkt der Bilder correspondiren müsste. Ist ein zweites Bild dieser Linie in der Richtung der Linie selbst verschoben, so kann es sich, wie directe Anschauung ergibt, mit dem ersten doch noch in ganzer Länge decken, es wird das besonders bei geraden Linien der Fall sein können. Die Fläche, in welcher gerade Linien von bestimmter Richtung gelegen sein müssen, um in dieser Weise auf identischen Netzhautlinien sich abzubilden, heisst ein Linienhoropter. Man bezeichnet ihn als Vertikalhoropter für die Linien, welche in den beiden Sehfeldern senkrecht zu den beiden Netzhauthorizonten zu stehen scheinen, als Horizontalhoropter für die, welche zu den Netzhauthorizonten parallel erscheinen. Für Linien, deren Bilder in den Sehfeldern parallel liegen, ist ein solcher Linienhoropter im Allgemeinen ein Hyperboloid mit einer Mantelfläche, welches in besonderen Fällen in einen Cylinder oder Kegel übergehen kann. Für gerade Linien, die sich in einem Punkte der Horoptercurve schneiden, ist der Linienhoropter ein Kegel zweiten Grades, welcher den gemeinsamen Schnittpunkt mit den anderen Punkten der Horoptercurve verbindet. Ueberhaupt erscheint jede gerade Linie, welche durch zwei Punkte der Horoptercurve geht, einfach. Das Nähere ist bei Hering und bei Helmholtz, Phys. Optik, nachzusehen).

Vernachlässigung der Doppelbilder. — Es braucht nach der bisherigen Darstellung der Verhältnisse der Gesichtswahrnehmungen keine Auseinandersetzung mehr, warum wir bei dem gewöhnlichen Sehen von den Doppelbildern der Objecte, welche ihre Bilder nicht auf identische Netzhautstellen entwerfen, nichts bemerken. Fixiren wir einen Gegenstand mit beiden Augen, so erscheint er einfach und deutlich, und die ferner oder näher liegenden Gegenstände, welche im indirecten Sehen doppelt erscheinen, bleiben unbeachtet. Und wir vernachlässigen die immer auch viel undeutlicheren Doppelbilder nicht im Horopter gelegener Objecte um so leichter, da wir durch anderweitige Erfahrungen unserer Sinne, vor Allem durch den Tastsinn, von der Einfachheit derselben eine tausendfältige Erfahrung besitzen. Die Doppelbilder sind uns die sinnlichen Zeichen nicht im Horopter gelegener einfacher Objecte. Um die Doppelbilder zu sehen, müssen wir künstlich von

den wahrgenommenen Objecten selbst abstrahiren und auf unsere Gesichtseindrucke als solche achten. Daher erklärt es sich, dass wir die Doppelbilder erst nach einer gewissen Uebung erkennen lernen, und dass ihr Auffinden auch für solche dauernd misslingen kann, die sonst in physischen Beobachtungen nicht ungeübt sind.

Die Schutzorgane des Auges.

Ueber die Anatomie der Schutzorgane des Auges vergleiche man die anatomischen Handbücher.

Die Augenlider werden durch die vom Facialis angeregte Contractilität des M. orbicularis palpebrarum geschlossen. Bei dem oberen hilft beim Schliessen die Schwere mit, welche die Oeffnung des untern vorzüglich besorgt. Das obere wird durch den vom N. oculomotorius innervirten M. levator palpebrae superioris geöffnet. An der Oeffnung beider Lider betheiligen sich aus organischen Muskelfasern bestehende, vom Sympathicus abhängige Retraktoren (H. Müller u. A.). Der Lidschluss erfolgt willkürlich und unwillkürlich im Schlaf, und als Reflex bei Berührung des Augapfels, der Wimperansätze und durch intensive Lichtreizung der Retina.

Die Thränenflüssigkeit benetzt fortwährend die vordere Augenfläche. Der Weg der Thränenflüssigkeit vom oberen äusseren Augenmuskel in der kapillaren Spalte des Conjunctivalsacks zum Thränensee im inneren Augenwinkel, und von da durch die Thränenpunkte in die steifen, kapillaren Thränenröhrchen, den Thränencanal und die Nasenhöhle, ist aus der beschreibenden Anatomie genügend bekannt. Der Lidschlag befördert den Abfluss der Thränen in die Nase. Beim Lidschluss spannt sich nämlich das Lig. palpebrale internum an und erweitert den Thränencanal, der nun die Thränenflüssigkeit aktiv ansaugt; analog wirkt auch der Horner'sche Muskel auf den Thränencanal. Das Ueberfliessen der Thränenflüssigkeit über den freien Lidrand wird bei normaler Sekretionsgrösse verhindert durch das fettige Sekret der Meibom'schen Drüsen. Die Thränendrüsen sind nach dem Typus der traubenförmigen Drüsen gebaut (F. Boll). Das Sekret, die Thränenflüssigkeit, ist klar, farblos, schwach alkalisch, von salzigem Geschmack. Es führt als anorganischen Bestandtheil vorwiegend Kochsalz, es soll auch geringe Mengen von Schleim und einen Eiweisskörper enthalten. Die Thränenflüssigkeit wird beständig in geringen Mengen secernirt. Durch psychische Alterationen verschiedener Art, sowie reflectorisch und durch directen Nervenreiz kann die Absonderung bedeutend gesteigert werden. Nach Czermak durch Reizung der Trigeminuswurzeln, nach Herzenstein durch Reizung des Ramus lacrimalis trigemini und (bei Hunden) des Ramus subcutaneus malae trigemini direct; reflectorisch, so lange der Nervus lacrimalis intact ist, durch Lichtreize der Retina und durch Reizung der sensiblen Zweige des ersten und zweiten Astes des Trigeminus der entsprechenden Seite, vorzüglich wirksam ist Reizung der Conjunctiva und der Nasenschleimhaut. Nach Demtschenko kann man durch Reizung eines jeden aus dem Gehirn entspringenden Gefühlsnerven die Thränenabsonderung reflectorisch anregen. Die Menge des zur Drüse strömenden Blutes scheint nicht ohne Einfluss auf die Menge der abgesonderten Thränen. Reizung und Durchschneidung des Halssympathicus vermehren aber beide die Thränenabsonderung. Nach Durchschneidung des Lacrimalis tritt paralytische Sekretion der Drüse auf (Demtschenko, Wolferz).

Vierundzwanzigstes Capitel.

Der Gehörsinn.

Allgemeines über die Function des Ohres und die Schallempfindungen.

Die dem Sinnesorgane des Gehörs eigenthümliche Reaktionsweise gegen Nervenreize ist die Schallempfindung. Normal wird sie im Ohre erzeugt durch Erschütterungen elastischer Körper, vor Allem der Luft, deren Schwingungen auf das Gehörorgan übertragen werden. Die Schallempfindung unterscheidet sich (Helmholtz) specifisch von allen Empfindungen der übrigen Sinne, kein anderes Sinnesorgan kann sie hervorrufen. Jede Erregung der nervösen Gehörsinnsubstanz, zu welcher der Nervus acusticus mit seinen Ganglienzellen und den Endapparaten im Labyrinth, den Hörhaaren und Corti'schen Stäbchen, sowie eine bestimmte Partie des Gehirnes, gehört, von welcher der Gehörnerv entspringt, erweckt nur Empfindungen aus dem specifischen Empfindungskreise des Gehörsinnes, Schallempfindungen.

Die normalen äusseren Erregungsmittel des Gehörorganes, die verschiedenen Schallschwingungen, werden zum Zwecke der Erzeugung von Gehörsempfindungen zunächst in verschiedene, bestimmte Bewegungen der Leitungsapparate des Ohrs, namentlich des Trommelfells, der Gehörknöchelchen, des Labyrinthwassers umgewandelt; durch die Wellen des Labyrinthwassers können mechanisch die im Labyrinth verschlossenen akustischen Endapparate der Gehörnerven in Mitschwingungen versetzt, und dadurch direct die zu den Endapparaten in Beziehung stehenden Akustikusfasern und die ihnen entsprechenden Partien des centralen Nervenapparates des Gehörsinns im Gehirne erregt werden. Den tausendfältig verschiedenen Tonempfindungen scheint eine gleiche Anzahl specifischer Empfindungsorgane im Labyrinthe zu entsprechen. Die von Max Schultze aufgefundenen, in der ganzen Thierwelt verbreiteten elastischen Hörhaare sind, wie Hensen experimentell gezeigt hat, ausserordentlich geeignet, um durch Wellenbewegungen, welche ihren eigenen Schwingungsperioden entsprechen, zu Mitschwingungen veranlasst zu werden. Im Labyrinthe des Menschen und der Säugethiere entdeckte Corti das wundervolle musikalische Instrument mit Tausenden verschieden gespannten musikalischen Saiten (? oder verschiedenen elastischen Stäbchen), welche einzeln ihren verschiedenen Elasticitätsverhältnissen entsprechend durch verschiedene Wellenbewegungen des Labyrinthwassers in Mitschwingungen versetzt werden und diese Bewegung

als Reiz auf die mit ihnen verknüpften Nervenfasern übertragen können (HELMHOLTZ). Jede musikalische Schallbewegung versetzt diejenigen der verschieden gestimmten mikroskopischen Apparate, die ihrer eigenen Tonhöhe entsprechen, in gleichstimmige Schwingungen, so dass der mit einer solchen Saite verknüpfte Theil der nervösen Gehörsinnsubstanz immer nur durch eine specifische Gehörsempfindung erregt wird.

Die Hauptverschiedenheit, welche unser Ohr zwischen den verschiedenen Schallempfindungen entdeckt, ist der Unterschied zwischen Geräuschen und musikalischen Klängen. Die Empfindung eines Klanges wird durch schnelle periodische Bewegung eines tönenden Körpers hervorgerufen, die Empfindung eines Geräusches durch nicht periodische Bewegungen. Das Sausen, Heulen und Zischen des Windes, das Plätschern des Wassers, das Rollen und Rasseln des Wagens sind Beispiele für die nicht periodischen Bewegungen der Geräusche, die Klänge der musikalischen Instrumente sind dagegen periodische Bewegungen. In mannigfach wechselndem Verhältniss können Klänge und Geräusche sich mischen und in einander übergehen. Nach HELMHOLTZ scheinen verschiedene Endapparate der Wahrnehmung von Klängen und Geräuschen zu dienen.

Die verschiedenen periodischen Wellenbewegungen der Klänge der akustischen Instrumente und des menschlichen Kehlkopfes (S. 685) können mathematisch als eine Summe einzelner einfacher Töne, d. h. pendelartiger Tonschwingungen aufgefasst werden. Auch unser Ohr zerlegt die Klänge in ihre Theiltöne (Grundton und harmonische Obertöne). Die specifisch verschiedene Klangfarbe der Klänge der musikalischen Instrumente beruht, wie uns HELMHOLTZ lehrte, dessen akustischen Untersuchungen wir uns im Folgenden hauptsächlich anschliessen, auf konstanten Verschiedenheiten in der Zusammensetzung aus Theiltönen und in der relativen und absoluten Stärke derselben. Wir unterscheiden noch weiter Tonhöhe und Stärke der Klänge. Die letztere wächst und nimmt ab mit der Breite (Amplitudo) der Schwingungen des tönenden Körpers. Mechanisch ist die Stärke der Schwingungen durch das Quadrat der grössten Geschwindigkeit zu messen, welche die schwingenden Theilchen erreichen. Physiologisch gilt diese Beziehung, wie wir unten sehen werden, nicht ganz genau, da das Gehörorgan verschiedene und zwar wechselnde Empfindlichkeit für Töne verschiedener Höhe besitzt.

Die Tonhöhe hängt nur ab von der Schwingungsdauer oder, was das nämliche sagt, von der Schwingungszahl. Unter der letzteren verstehen wir die Anzahl der Schwingungen, welche der tönende Körper in der Secunde ausführt. Die Schwingungsdauer finden wir, wenn wir die Secunde mit der Schwingungszahl dividiren e. v. v. Die Klänge und Töne sind um so höher, je grösser ihre Schwingungszahl oder je kleiner ihre Schwingungsdauer ist. Die musikalisch gut verwendbaren Töne mit deutlich wahrnehmbarer Tonhöhe liegen zwischen 40—4000 Schwingungen, sie umfassen also 7 Oktaven; die überhaupt wahrnehmbaren liegen zwischen 16—38000, also im Bereiche von etwa 11 Oktaven.

Im Allgemeinen setzen wir hier und in der Folge die Ergebnisse der physikalischen Akustik als bekannt voraus.

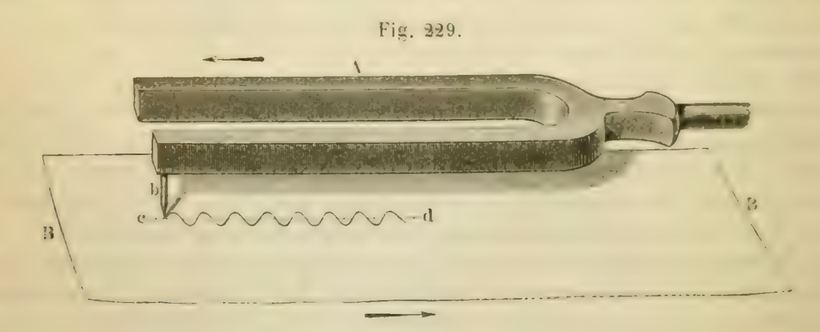
Tonhöhe. — Nach der von der Naturforscherversammlung 1834 genehmigten Bestim-

mung Scheibler's, an die wir uns anschliessen, macht das eingestrichene A in der Secunde 440 Schwingungen, nach der neuen Pariser Stimmung dagegen in deutscher Zählweise nur 437,5; da die französischen Physiker den Hin- und Hergang eines schwingenden Körpers jeden einzeln eine Schwingung nennen, so rechnen sie für dieselbe Note die doppelte Schwingungszahl 875. Auf grösseren Orgeln hat man als tiefsten Ton, nach der Berechnung von Helmholtz, C_{II} mit 16,5 Schwingungen; der musikalische Charakter der tiefsten Töne unter E_I ist aber schon unvollkommen, sie stehen an der Grenze, an welcher die Fähigkeit des Ohres aufhört, die Schwingungen zu einem Ton zu verbinden. E_I des Contrabasses ist der tiefste Ton der Orchesterinstrumente mit 41,25 Schwingungen, die neueren Klaviere und kleineren Orgeln gehen bis C_I mit 33 Schwingungen, neuere Flügel haben hier und da noch A_{II} mit 27,5 Schwingungen. Die Pianofortes gehen in der Höhe bis a^{IV} mit 3520 oder c^{V} mit 4224 Schwingungen, als höchsten Ton des Orchesters nimmt Helmholtz das 5gestrichene a auf der Piccoloflöte an mit 4752 Schwingungen. Indem Despretz kleine Stimmgabeln mit dem Violinbogen strich, erreichte er noch das 8gestrichene d mit 38016 Schwingungen. Diese hohen Töne waren schmerzhaft unangenehm, und die Unterscheidung war auch an dieser oberen Grenze der Tonempfindung nur unvollkommen (Helmholtz).

Klangfarbe. — Als dritten wesentlichen Unterschied zwischen den verschiedenen Klängen haben wir die Klangfarbe genannt, die zunächst von dem musikalischen Instrumente bedingt erscheint, welches den Klang erzeugt. Dieselbe Note, von den verschiedenen Instrumenten angegeben, zeigt bekanntlich trotz gleicher Stärke und gleicher Tonhöhe bei jedem Instrumente gewisse charakteristische, gleichbleibende Eigenschaften, so dass wir mit der grössten Leichtigkeit die Klänge des Klaviers, der Violine, der Flöte, der Menschenstimme etc. von einander unterscheiden können. Von der Weite der Schwingung, welche der Stärke, oder von der Dauer der Schwingung, welche der Tonhöhe entspricht, kann die Klangfarbe nicht bedingt sein, sie kann also nur noch abhängen von der verschiedenen Art und Weise, wie die Bewegung innerhalb jeder einzelnen Schwingungsperiode vor sich geht.

Zur Definition des Klanges gehört nur, dass seine Bewegung eine periodische sei; die Art, wie die Bewegung innerhalb der Perioden vor sich geht, kann unendliche Mannigfaltigkeit zeigen. Helmholtz wählt zur Veranschaulichung dieser Unterschiede zunächst zwei Beispiele. Setzen wir ein Pendel in Bewegung, so sehen wir dasselbe von rechts nach links in gleichmässiger, nirgends stossweise unterbrochener Bewegung schwanken; nahe den beiden Enden seiner Bahn bewegt es sich langsam, in der Mitte schnell. In derselben Weise, nach demselben Gesetz, nur sehr viel rascher, bewegen sich die Zinken einer austönenden Stimmgabel hin und her. Ein Hammer, der von einer Wassermühle bewegt wird, gibt ein

Fig. 229.



anderes Beispiel periodischer Bewegung. Langsam wird er von dem Mühlwerk gehoben, dann fällt er, losgelassen, plötzlich herab, um von neuem langsam anzusteigen. Die Bewegung ist zwar eine periodische, aber von der des Pendels verschieden. Die Bewegung einer gestrichenen Violinsaite entspricht dem letzteren Falle ziemlich genau. Die Saite haftet eine Zeit lang

am Bogen fest, wird von diesem mitgenommen, bis sie sich plötzlich wie der Hammer in der Mühle losreisst und nun wie dieser mit viel grösserer Geschwindigkeit, als mit der sie angezogen wird, ein Stück zurückspringt, um dann von neuem durch den Bogen gefasst zu werden. Diese Verschiedenheiten der periodischen Bewegung kann man, wie aus der physikalischen Akustik erinnerlich ist, graphisch als Wellenzüge darstellen, indem man z. B. an eine Stimmgabel einen Stift befestigt, und diesen, während sie tönt, mit gleichbleibender Geschwindigkeit über eine berusste Glasplatte hinzieht (Fig. 229). Die gezeichneten Wellenlinien, die Curven, fallen bei den gewählten Beispielen, die wir unendlich hätten häufen können, auch wenn die Perioden bei allen gleich sind, verschieden aus, man bezeichnet diese Verschiedenheit als Schwingungsform eines tönenden Körpers. Die Physiker lehrten, dass von dieser Schwingungsform die Klangfarbe abhänge. Helmholtz zeigte, in welcher Weise dieser Satz gültig ist.

Wenn wir die Wirkungen verschiedener Wellenformen, z. B. die der Violinsaite, auf unser Gehörorgan aufmerksam beobachten, so hören wir bei gehörig gerichteter Aufmerksamkeit nicht nur den Ton, dessen Tonhöhe durch die Dauer der Schwingung, wie oben auseinander gesetzt ist, bestimmt wird, und den wir als Grundton bezeichnen, sondern eine ganze Reihe höherer Töne, welche die harmonischen Obertöne des Klanges genannt werden. Der Grundton ist der tiefste und meist auch der stärkste unter all diesen Tönen, nach seiner Tonhöhe beurtheilen wir die Tonhöhe des ganzen Klanges. Die Reihe dieser Obertöne ist für alle musikalischen Klänge konstant, es tritt auf: 1) die höhere Oktave des Grundtons, welche die doppelte Anzahl von Schwingungen macht, also c', wenn der Grundton c ist; 2) die Quinte dieser Oktave g' mit dreimal; 3) die zweite höhere Oktave c'' mit viermal; 4) die grosse Terz dieser Oktave e'' mit fünfmal; 5) die Quinte dieser Oktave g'' mit sechsmal so viel Schwingungen wie der Grundton. Daran reihen sich, immer schwächer und schwächer werdend, die Töne, welche 7, 8, 9mal u. s. w. so viele Schwingungen machen als der Grundton.

Nach Helmholtz bezeichnen wir die Gesammtempfindung, welche eine periodische Lufterschütterung im Ohre hervorruft, wie oben angegeben, als Klang. In dem Klang sind nach dem Ebengesagten eine Reihe verschiedenartiger Töne enthalten, welche als Theiltöne oder Partialtöne des Klanges bezeichnet werden, der erste dieser Theiltöne ist der Grundton, die übrigen seine harmonischen Obertöne.

G. S. Ohm hat den Satz zuerst ausgesprochen, dass es eine einzige akustische Schwingungsform gibt, die nur aus dem Grundton ohne alle harmonischen Obertöne besteht. Es ist das die Schwingungsform, die wir bei dem Pendel und der Stimmgabel gefunden haben. Helmholtz bezeichnet sie als pendelartige oder einfache Schwingungen und beschränkt auf solche die Bedeutung des Wortes Ton. Als Klang bezeichnet er den Eindruck einer periodischen, nicht pendelartigen Luftbewegung, deren Schwingung in gewissem Sinn als eine zusammengesetzte betrachtet werden kann. Das Ohr selbst nimmt, wie wir sahen, eine Analyse der Klänge vor. Ohm hat gezeigt, dass jede Luftbewegung, welche einer zusammengesetzten Klangmasse, einem Klang, entspricht, zu zerlegen ist in eine Summe einfacher pendelartiger Schwingungen; jeder solchen einfachen Schwingung entspricht ein Ton, den das Ohr empfindet, und dessen Tonhöhe durch die Schwingungsdauer der entsprechenden Luftbewegung bestimmt ist.

Die Form der einfachen, pendelartigen Schwingungen ist immer die gleiche, nur ihre Amplitude und die Dauer ihrer Periode kann wechseln. Durch Combination zweier einfacher, pendelartiger Schwingungen kann schon die Form der Schwingung sehr mannigfaltig werden, noch mehr bis ins Unendliche, wenn wir eine ganze Anzahl von einfachen Schwingungen zu einer einzigen periodischen Bewegung zusammensetzen.

In welcher Weise solche Zusammensetzungen einfacher Wellenzüge zu complicirteren stattfinden, können wir uns leicht an den Wellen auf der Oberfläche eines Wasserspiegels veranschaulichen. Werfen wir einen Stein in das Wasser, so breitet sich von dem Be-

wegungscentrum die Erschütterung in Form von Wellenringen uber die Fläche hin aus zu immer ferneren und ferneren Punkten. Haben wir gleichzeitig zwei (oder mehrere) Steine an verschiedenen Stellen der Wasserfläche hineingeworfen (oder in anderer Weise Wellenzüge erzeugt), so gehen von den verschiedenen Mittelpunkten der Erschütterung Wellenringe aus, die sich vergrössern und einander begegnen. Die Stellen, wo sich die Ringe treffen, werden nun durch beide Erschütterungen gleichzeitig in Bewegung gesetzt, trotzdem pflanzen sich aber die einzelnen Wellenzüge gerade ebenso weiter fort, als wenn jeder von ihnen ganz allein auf der Wasserfläche vorhanden wäre. Von einem erhöhten Standpunkte aus können wir die verschiedenen Wellenzüge, welche gleichzeitig auf der Wasseroberfläche vorhanden sind, mit Leichtigkeit mit den Augen verfolgen und analysiren. Ein ganz ähnliches Schauspiel muss man sich vorgehend denken in einem Luftraume, in welchem eine Anzahl von Schallwellen, deren Länge bei den brauchbaren Tönen von 92 Fuss bis 6 Zoll schwankt, gleichzeitig sich fortpflanzt, etwa im Inneren eines Tanzsaales (Helmholtz). Die Musikinstrumente, sprechende Menschen, rauschende Kleider, gleitende Flüsse, klirrende Gläser etc. erregen hier Wellenzuge, welche durch den Luftraum des Saales hinschiessen, an seinen Wänden zurückgeworfen werden, umkehren, dann gegen eine andere Wand treffen, nochmals reflectirt werden und so fort, bis sie erlöschen. Von dem Munde der Männer und den tieferen Musikinstrumenten gehen langgestreckte, 8—12 Fuss lange Wellen aus, von den Lippen der Frauen kürzere, 2—4 Fuss lang, das Rauschen der Kleider bringt ein kleines Wellengekräusel hervor, kurz man kann sich das Durcheinander der verschiedenartigsten Bewegungen nicht verwickelt genug vorstellen. Doch ist von selbst klar, dass an jeder einzelnen Stelle des Luftraums in jedem Augenblicke die Lufttheilchen nur eine bestimmte Bewegung mit einer bestimmten Geschwindigkeit nach einer bestimmten Richtung ausführen können. Bei den Wellen, die sich auf einer Wasseroberfläche begegnen, können wir direct uns anschaulich machen, was in einem solchem Falle geschieht. Werfen wir einen Stein in eine Wasserfläche, über welche schon längere Wellen hinziehen, so werden die Wellenringe in die bewegte, zum Theil gehobene, zum Theil gesenkte Wasserfläche genau ebenso hineingeschnitten, als wäre die Fläche ganz ruhig. Die Berge der Ringe ragen über die schon anderweitig bewegte Fläche um ebenso viel hervor, die Thäler sind um ebenso viel tiefer. Wo ein Berg des grösseren Wellenzuges mit einem Berge des Wellenringes zusammenfällt, ist die Erhebung der Wasserfläche gleich der Summe beider Berghöhen, fällt ein Thal des Wellenringes in ein Thal der grösseren Wellen, so ist die gesammte Einsenkung der Wasserfläche gleich der Summe beider Thäler. Schneidet sich auf der Höhe der grösseren Wellenberge ein Thal des Wellenringes ein, so wird die Höhe dieses Berges verringert um die Tiefe des Thales. »Die Erhebung der Wasserfläche in jedem ihrer Punkte ist in jedem Zeitmoment so gross, wie die Summe derjenigen Erhebungen, welche die einzelnen Wellensysteme, einzeln genommen, an demselben Punkte und zu derselben Zeit hervorgebracht haben würden«. Ganz in demselben Sinne findet eine Superposition der verschiedenen Wellensysteme in der Luft statt, nur dass hier die Ausbreitung der Wellen nach allen Richtungen des Raumes möglich ist und die Wellen selbst in Dichtigkeitsschwankungen der Luft bestehen. Wir haben jedoch für das Ohr, dessen äusserer Gehörgang, mit den Schallwellen verglichen, verhältnissmässig sehr eng ist, nur Bewegungen der Luft, die der Axe des Gehörganges parallel sind, zu berücksichtigen, also nur Verschiebungen der Lufttheilchen in der Richtung von der Mündung des Gehörgangs gegen das Trommelfell. Wenn also mehrere tönende Körper in dem uns umgebenden Luftraume gleichzeitig Schallwellensysteme erregen, so sind sowohl die Veränderungen der Dichtigkeit der Luft, als die Verschiebungen und die Geschwindigkeiten der Lufttheilchen im Innern des Gehörgangs gleich der Summe derjenigen entsprechenden Veränderungen, Verschiebungen und Geschwindigkeiten, welche die einzelnen Schallwellenzüge, einzeln genommen, hervorgebracht haben würden. Wir können also insofern behaupten, dass alle die einzelnen Schwingungen, welche die einzelnen Schallwellenzüge hervorgebracht haben würden, ungestört neben einander und gleichzeitig in unserem Gehörgange bestehen.

Nach dem oben erwähnten OHM'schen akustischen Gesetze besitzt das Ohr in höchstem Maasse die Fähigkeit, die verschiedenen sich mischenden Wellenzüge von einander zu trennen.

Dieses OHM'sche Gesetz wird durch das mathematisch erwiesene Gesetz FOURIER's vervollständigt: »Jede beliebige regelmässige periodische Schwingungsform kann aus einer Summe von einfachen Schwingungen zusammengesetzt werden, deren Schwingungszahlen ein, zwei, drei, vier u. s. w. mal so gross sind, als die Schwingungszahl der gegebenen Bewegung«, und zwar kann eine gegebene regelmässig periodische Bewegung nur in einer einzigen Weise als Summe einer gewissen Anzahl einfacher Schwingungen dargestellt werden. Es entspricht, wie wir sahen, einer regelmässig periodischen Bewegung ein Klang, einer einfachen Schwingung ein Ton, wir können also das mathematische Gesetz auch so formuliren (HELMHOLTZ): »Jede Schwingungsbewegung der Luft im Gehörgange, welche einem musikalischen Klange entspricht, kann immer und jedes Mal nur in einer einzigen Weise dargestellt werden als die Summe einer Anzahl einfacher schwingender Bewegungen, welche Theiltönen dieses Klanges entsprechen.

Das Ohr hat dieselbe Fähigkeit wie die mathematische Analyse, das Wellengemisch des Klanges in seine einfachen Bestandtheile, die Partialtöne, zu zerlegen.

Den in einer Klangmasse enthaltenen Partialtönen kommen auch sonst besondere mechanische Wirkungen in der Aussenwelt zu, die sich vor Allem in dem Phänomene des **Mittönens** oder Mitschwingens äussern. Die Fähigkeit des Mittönens findet sich vorzugsweise bei solchen Körpern, welche, einmal durch irgend einen Anstoss in Schwingungen versetzt, ehe sie zur Ruhe kommen, eine längere Reihe von Schwingungen ausführen. Werden sie von ganz schwachen, aber regelmässig periodischen Stössen getroffen, von denen jeder einzelne viel zu schwach ist, um eine merkliche Bewegung des schwingenden Körpers zu veranlassen, so kann sich doch die grosse Anzahl der Anstösse zu sehr ausgiebigen Schwingungen des genannten Körpers summiren, wenn die Periode jener schwachen Anstösse genau gleich ist der Periode der eigenen Schwingungen des angestossenen Körpers. Weicht die Periode der regelmässig sich wiederholenden Stösse ab von seiner Periode der Schwingungen, so entsteht eine schwache oder ganz unmerkliche Bewegung. Gewöhnlich gehen solche periodische Anstösse von einem andern in regelmässigen Schwingungen begriffenen Körper aus, in diesem Falle rufen die periodischen Schwingungen des einen Körpers periodische Schwingungen eines anderen hervor, auf welchen Vorgang die Bezeichnung Mittönen oder Mitschwingen sich zunächst bezieht. Wenn z. B. zwei Saiten zweier Violinen genau gleichgestimmt sind, und man die eine anstreicht, so geräth auch die gleichstimmige Saite der anderen Violine in Schwingungen. Dasselbe ist von den Saiten eines Klaviers, deren Dämpfer man niedergedrückt hat, bekannt; singt man einen Ton kräftig in das Innere des Klaviers, oder gibt ihn mit einem musikalischen Instrumente an, so klingt die gleichstimmige Seite mit und nach dem Aufhören des Tones noch nach. Körper von geringer Masse, welche ihre Bewegung an die Luft leicht abgeben und schnell austönen, wie gespannte Membranen, Saiten einer Violine, sind leicht in Mitschwingungen zu versetzen. Im Allgemeinen sind die Schwingungen, in welche die meisten elastischen Körper durch irgend einen schwachen periodischen Anstoss versetzt werden, pendelartig.

Man kann nun durch das Phänomen des Mitschwingens die zusammengesetzten Klangmassen physikalisch analysiren. Die einzelnen pendelartigen Schwingungen, welche sie componiren, vermögen gleichgestimmte Saiten oder Membranen in Mitschwingung zu versetzen. Bestreut man z. B. solche verschieden abgestimmte Membranen mit Sand, so zeigen die Bewegungen des Sandes auf den mit den Partialtönen des Klanges gleichgestimmten Membranen das Vorhandensein dieser Partialtöne in der gesammten akustischen Wellenbewegung des Klanges objectiv an. Ein noch weit feineres Mittel zur Analyse der Klänge bilden die sogenannten Resonatoren (HELMHOLTZ), verschieden grosse oder lange gläserne oder metallene Hohlkugeln oder Röhren, mit zwei Oeffnungen, für einen bestimmten Ton abgestimmt.

welche mit der einen Oeffnung in den Gehörgang eingepasst werden. Die Luftmasse bildet in Verbindung mit dem Gehörgang und dem Trommelfell ein elastisches System, mit der Befähigung zu eigenthümlichen Schwingungen, unter denen besonders der Grundton durch Mittönen stark hervorgerufen werden kann. Findet sich dieser Grundton des Resonators in einem Tongemisch, so braust er, wenn das andere Ohr verstopft ist, wobei man den Klang im Allgemeinen nur gedämpft hört, mit grosser Stärke in das Ohr. Vorzüglich auf diese Weise hat Helmholtz mit Hülfe sehr verschiedener Resonatoren die Klänge der verschiedenen Instrumente auf ihre Theiltöne untersucht.

Dieselben Klänge auf verschiedenen Instrumenten angegeben unterscheiden sich, wie wir sahen, wesentlich von einander durch ihre Klangfarbe. Auf dem angegebenen analytischen Wege kam Helmholtz zu der Erklärung dieser Erscheinung. Die Klänge des Klaviers, der Geige, der menschlichen Stimme, der Blechinstrumente etc. unterscheiden sich von einander durch die den Klang componirenden Theiltöne und ihre relative Stärke. Nicht immer ist der Grundton der stärkste; manche Obertöne fehlen oft ganz oder zeichnen sich durch auffallende Stärke oder Schwäche vor den übrigen aus. Je reicher ein Klang an Obertönen ist, desto brauchbarer ist er in musikalischer Beziehung, doch dürfen sie den Grundton nicht an Stärke überwiegen, der Klang erhält sonst den Charakter des leeren; er wird klimpernd, wenn die Obertöne sehr hoch sind. Das Nähere bei Helmholtz, Lehre von den Tonempfindungen. Die Menschenstimme hat schon Capitel XVI. ihre Darstellung in der vorliegenden Beziehung gefunden.)

Man hätte annehmen können, dass nicht nur die Obertöne, sondern auch Phasendifferenzen die Klangfarbe erzeugen könnten. Das Experiment weist diese Vermuthung zurück. So müssen wir also annehmen, dass unser Ohr im Stande ist, die Klänge in ihre Theiltöne zu zerlegen und auf diese Weise — wie durch die Anwendung der Resonatoren — nicht nur ihre Anwesenheit, sondern auch ihre relative Stärke zu bestimmen. Erst das Centralorgan des Gehörsinnes vereinigt wieder die getrennten Empfindungen bis zu einem gewissen Grade, zu einer Mischempfindung. Wir haben hier also analoge Verhältnisse wie bei dem Farbensehen mit dem Auge. Auch dort mussten wir annehmen, dass auf der Netzhaut die Mischfarben, welche den Klängen entsprechen, in die Grundfarben zerlegt werden; auch dort wurde uns der Akt der Mischungsempfindung erst in dem Centralorgane wahrscheinlich.

Helmholtz entwickelte hieraus seine schon erwähnte Hypothese, die unten noch näher ausgeführt werden soll, und die im Allgemeinen auf dem Satze basirt, dass auch bei dem Gehörgange die periodischen Schwingungen der Klänge in ihre einfachen pendelartigen Schwingungen (Töne) nach dem Gesetz des Mitschwingens durch gleichgestimmte mitschwingende Theile im Ohre selbst zerlegt werden.

Von den bisher besprochenen Klängen, die als einfache Summen von Obertönen aufzufassen sind, müssen die Kombinationstöne unterschieden werden. Es kommen unter Umständen — wenn die durch zwei gleichzeitig vorhandene Töne gesetzten Dichtigkeitsveränderungen der Luft nicht sehr klein sind — in der Luft selbst schon zusammengesetzte Bewegungen zu Stande, die als neue Töne wahrgenommen werden. Es summiren sich dann die Schwingungszahlen der sich vereinigenden Töne, so dass der Kombinationston dann in der gleichen Zeit soviel Schwingungen besitzt, als die Summe oder Differenz der Schwingungszahlen der Grundtöne beträgt. Nicht nur die Grundtöne, sondern auch Obertöne können zu solchen Kombinationstönen verschmelzen.

Zeichnen wir uns einen Ton als eine regelmässige Wellenlinie auf, so lässt sich leicht anschaulich machen (wenn wir eine vollkommen gleiche Wellenlinie so in die erste hineinzeichnen, das die zweite gerade um eine halbe Wellenlänge später beginnt als die erste, wodurch beide Wellen vernichtet werden), wie bei Tönen, welche in genauem Einklang stehen, Ruhe eintreten kann, wenn sie gerade um eine halbe Wellenlänge sich unterscheiden. Bei Tönen, welche in der Höhe etwas verschieden sind, deren Wellen sich also nicht genau decken, entsteht unter den angegebenen Umständen nicht Ruhe, sondern nur periodische Schwankungen der Tonstärke, sogenannte Schwebungen. Nur wenn diese Schwebungen selten

erfolgen, lassen sie sich noch als einzelne »Schläge« empfinden, wenn sich dieselben so rasch folgen, dass sich die Einzeleindrücke verwischen, wird die Klangmasse wild und rauh und macht auf das Gehör den unangenehmen, stossenden Eindruck der Dissonanz, die Helmholtz mit der Empfindung des Flackerns eines Lichtes vergleicht. Am stärksten ist der unangenehme Eindruck der Dissonanz, wenn sich in der Secunde die Schwebungen 33 mal wiederholen, erfolgen sie öfter, so nimmt, ohne dass der Charakter der Empfindung geändert wird, die Unannehmlichkeit derselben ab. Auch Obertöne und Kombinationstöne können Veranlassung zu Schwebungen und damit zur Dissonanz geben. Es tritt unter allen Umständen der Eindruck der Dissonanz nur dann ein, wenn das Intervall der beiden schwebenden Töne nicht zu gross ist, weil sonst zwei Corti'sche Fasern resp. Akustikusfasern erregt werden würden, deren gemeinschaftlicher Erregungszustand sich nicht stört (Helmholtz).

Durch die Konsonanz oder Dissonanz der Obertöne unterscheiden sich die Intervalle der musikalischen Tonleiter wesentlich von einander Bei der Oktave z. B. fallen alle Obertöne beider Grundtöne zusammen, so dass keine Schwebungen entstehen können, die sich aber bei der geringsten Unreinheit der Instrumentalstimmung sogleich ergeben. Andere Intervalle werden auch bei vollkommen reiner Stimmung aus dem entgegengesetzten Grunde leicht rauh, so z. B. die grosse Septime und die kleine Secunde, bei denen die Obertöne nur um einen Halbton auseinander stehen. Man kann darnach die Intervalle in 5 Abtheilungen eintheilen:

1) Absolute Konsonanzen — alle Obertöne fallen zusammen —: Oktave, Duodecime, Doppeloktave.

2) Vollkommene Konsonanzen — die nicht zusammenfallenden Obertöne kommen einander nicht so nahe zu liegen, dass sie bedeutende Rauhigkeiten geben könnten —: Quinte, Quarte.

3) Mittlere Konsonanzen — in tieferen Lagen merklich rauh —: grosse Septe, grosse Terz.

4) Unvollkommene Konsonanzen: kleine Septe, kleine Terz.

5) Dissonanzen, die selbstverständlich wieder eine Eintheilung nach verschiedenen Graden der Rauhigkeiten erlauben. —

Der Accord entsteht dadurch, dass drei Töne zusammen kommen. Er kann natürlich nur dann konsonant sein, wenn seine Intervalle konsonant sind. Bei den Mollaccorden geben die Kombinationstöne theils dem Accorde fremde Töne, theils kommen sie einander und den primären so nahe, dass Dissonanzen entstehen, die nur wegen der Schwäche der Kombinationstöne den Accord selbst nicht merklich stören, ihn aber doch etwas unklar erscheinen lassen, worauf es beruht, dass die Mollaccorde so geeignet sind, unklare, trübe Gemüthsstimmungen zum musikalischen Ausdruck zu bringen. Die Melodie, eine Bewegung der Töne in der Zeit, setzt ausser dem Takte noch eine feste Tonleiter voraus, welche auf der Verwandtschaft der Klänge unter einander beruht. Bei den Oktaven ist die Verwandtschaft vollkommen, die Partialtöne sind gleich, es kommen keine neuen hinzu; so kommt es, dass man die ganze Tonmasse zuerst in eine Reihe von Oktaven eintheilt. Bei den anderen Klängen kommt stufenweise Neues hinzu, was die Verwandtschaft dann mehr oder weniger verdeckt (Helmholtz).

Die hohe Ausbildung des Gehörorganes, welche eine Auffassung der Reizverschiedenheit in den neben einander liegenden Akustikusendorganen, den Corti'schen Fasern oder Hörstäbchen nach der Helmholtz'schen Hypothese voraussetzt, ist wie beim Auge und dem Tastorgane eine Folge der fortgesetzten Erziehung. Bei dem Neugebornen ist das Gehörvermögen noch sehr wenig entwickelt, das stärkste Geräusch scheint keinen besonderen Eindruck auf das neugeborene Kind zu machen. Nach einiger Zeit scheint es die hohen Töne zu vernehmen, wenigstens wählen die Wärterinnen solche, um seine Aufmerksamkeit zu erregen. Es spricht Alles für eine geringe Empfindlichkeit des Hörnerven noch bei dem grösseren Kinde, die höchsten und stärksten Töne liebt es vor Allem, starke, Erwachsenen unangenehme Geräusche machen ihm angenehme Eindrücke. Im Alter stumpft sich die Sensibilität des Gehörnerven

mit den übrigen Nervenfunctionen wieder mehr oder weniger ab, so dass Greise meist etwas schwerhörig sind.

C. Norr hat unter Vierordt's Leitung die Gültigkeit des Fechner'schen psychophysischen Gesetzes auf dem Gebiete der Schallstärke bestätigt. Es bieten die für einen und denselben Procent-Reizunterschied berechneten Werthe des Empfindlichkeitsmaasses nur sehr geringe Abweichungen, die von der absoluten Stärke des Reizes unabhängig sind.

Die Kopfknochen, das äussere Ohr und der äussere Gehörgang.

Die Kopfknochen. Der tief eingeschlossen in dem Innern der Schädelknochen endende Gehörnerv kann nur dadurch von den Schallwellen erreicht werden, dass diese auf Theile des Körpers übergehen, und in diesen bis zu den akustischen Endorganen sich fortpflanzen. Den Hauptweg der Schallleitung bilden die specifischen Apparate des Gehörorgans selbst; aber die Schallwellen treffen an der ganzen Körperoberfläche auf elastische Theile, welche in höherem oder geringerem Grade die Schallbewegung zu leiten vermögen. Von den entfernteren Theilen des Körpers können keine Schallwellen bis zu dem Akustikus gelangen, dagegen erscheinen die Kopfknochen zur unmittelbaren Uebertragung von Schallwellen vor Allem fester oder tropfbar flüssiger Körper zum Gehörnerven geeignet. Schlägt man eine Stimmgabel so schwach an, dass sie in der Luft nicht tönt, und setzt sie auf Kopfknochen z. B. auf das Scheitelbein auf, so hört man nun durch die Knochenleitung den Ton. Es ist das ein Versuch, der auch diagnostisch verwerthet wird, um die Functionirung des Akustikus festzustellen. Bei den unter Wasser lebenden Wirbelthieren werden die Schallwellen, welche sich im Wasser fortpflanzen, normal zum grossen Theil zunächst auf die Schädelknochen und durch diese auf den Akustikus übertragen. Bei dem Menschen und den übrigen in der Luft lebenden Wirbelthieren ist die Aufgabe der Knochenleitung eine untergeordnete, mehr zufällige, und zweifellos können die Schallwellen der Luft nur in geringer Intensität auf diesem Wege geleitet werden. Immerhin verbindet sich diese Leitung stets mit der Leitung auf dem Hauptwege und kann diese in besonderen, z. B. krankhaften Fällen bis zu einem gewissen Grade ersetzen.

Das äussere Ohr hat bei vielen Thieren eine im Allgemeinen trichterförmige Gestalt und kann durch Muskeln in die Schallrichtung eingestellt werden, hier ist seine Hauptwirkung als Hörrohr unzweifelhaft. Auch das menschliche äussere Ohr scheint bis zu einem gewissen Grade diese Aufgabe zu erfüllen, doch ist bei ihm die Trichterform weniger ausgesprochen und seine Bewegungsfähigkeit meist ganz verloren gegangen. Die von der Anatomie beschriebenen Muskeln für die Bewegung des äusseren Ohres im Ganzen, für das Vor- und Rückwärtsdrehen und Heben der Ohrmuschel, sowie die zwischen Abschnitten des Ohrknorpels verlaufenden Muskeln, können wegen mangelnder Uebung nur von Wenigen willkürlich in Thätigkeit versetzt werden. Die mannigfachen leistenartigen Vertiefungen und Vorsprünge der muschelförmigen Oberfläche sollten nach älteren Physiologen Boerhave alle die Ohrmuschel treffenden Schallwellen in solcher Richtung reflektiren, dass sie in den äusseren Gehörgang eingeworfen würden. Esser's und Harless' Versuche haben diese Mei-

nung im Allgemeinen widerlegt. Der Werth der Ohrmuschel ist bei dem Menschen ein ziemlich geringer. Für die Reflexion ist vorzüglich nur die Concha thätig, sie wirft die sie treffenden Schallwellen der Luft gegen den Tragus, von wo sie in den Gehörgang gelangen; die übrigen Unebenheiten des Ohres scheinen die Reflexion wenig oder nicht zu unterstützen. Das äussere Ohr ist aber nicht nur Reflector, sondern als eine freistehende elastische Platte auch ein Leiter der Schallwellen. Es nimmt die Schallwellen in grosser Breite auf und leitet sie freilich nur in geringer Intensität zu seiner Ansatzstelle und von da zum Trommelfell und den Kopfknochen. Von diesem Gesichtspunkte aus lässt sich die Wirkung der wunderlichen Bildung des äusseren Ohres mit ihren Unebenheiten, Vorsprüngen und Vertiefungen einigermassen einsehen. Diejenigen Theile der Ohrknorpelplatte, auf welche die Richtung der Schallwellen senkrecht ist, werden diese auch am stärksten aufnehmen; die Unebenheiten des Ohres sind aber so mannigfaltig, dass beliebig gerichtete Schallwellen auf die Tangente einer dieser Erhabenheiten senkrecht sein werden (J. Müller). Auch bei dem Ohre der Thiere kommt diese Leitung der Schallwellen durch das äussere Ohr in Betracht.

Der äussere Gehörgang, der nach dem mittleren Ohre zu durch das Trommelfell abgeschlossen ist, beginnt mit einer etwas trichterförmigen Erweiterung, welche den Luftwellen in grösserer Ausdehnung den Eintritt gestattet. Er hat die Wirkung eines Hörrohrs. Die zu seiner Mündung gelangenden Schallwellen der äusseren Luft gehen auf die in ihm enthaltene Luftsäule über und kommen vielleicht niemals direct, sondern erst nach ein- oder mehrmaliger Reflexion an den Wänden des Gehörganges zum Trommelfelle. Die Wände des Ganges dienen daneben nach dem oben gesagten auch zur directen Schallleitung vom äusseren Ohrknorpel und den Kopfknochen aus.

Die innere Oberfläche des Gehörganges, welche mit einer Fortsetzung der äusseren Haut ausgekleidet ist, wird von den Sekreten der hier mündenden Ohrenschmalz- und Talgdrüsen mit einem besonders aus Fett bestehenden Sekret, dem Ohrenschmalz, überzogen. Bei mangelnder Absonderung desselben soll Schwerhörigkeit und Brausen im Ohr bemerkt worden sein. Ohrenschmalzpfröpfe bringen Schwerhörigkeit hervor, wenn sie den Gehörgang vollkommen verstopfen, geringere Hindernisse in dem letzteren erschweren das Hören dagegen nur auffallend wenig. Das Ohrenschmalz enthält ein Albuminat, Olein und Margarin, einen in Wasser löslichen bitteren Stoff und anorganische Salze; nach Petrequin ist seine Zusammensetzung: 10% Wasser, 26% Fette, 52% Kaliseifen fetter Säuren, 12% unlösliche organische Materie, Spuren von Kalk und Natron. Das Mikroskop zeigt Talgzellen und Epithelzellen, freies Fett und Cholesterinkrystalle.

Der äussere Gehörgang ist beim Erwachsenen im Ganzen etwa 3—3,25 cm lang, sein vorderes Dritttheil hat eine knorpelige Grundlage. Er stellt eine leicht spiralig gewundene Röhre dar, mit der Richtung nach innen und etwas nach vorn. Er steigt dabei anfangs etwas nach aufwärts, biegt sich dann ziemlich plötzlich und beinahe senkrecht nach abwärts und steigt zuletzt wieder etwas an. Zur Untersuchung des Gehörganges muss man daher die Ohrmuschel mit dem knorpeligen Theile des äusseren Gehörgangs etwas nach aufwärts ziehen.

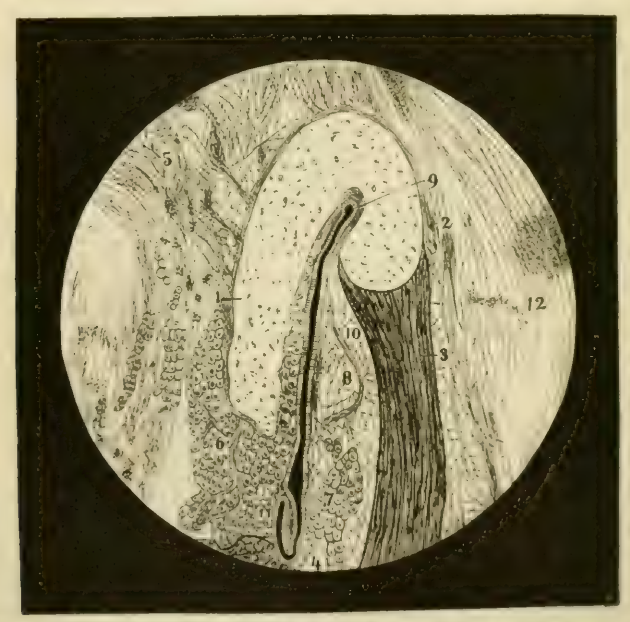
Die Weite des Ganges ist am geringsten etwa in seiner Mitte. Der Durchmesser der äusseren Oeffnung ist in vertikaler Richtung am grössten, 8—9 mm, die horizontale Ausdehnung ist am Trommelfell am bedeutendsten, wo sie 6—8 mm beträgt. Der knöcherne Gehörgang zeigt eine ovale Lichtung, der grosse Durchmesser des Ovals steht in dem äusseren Abschnitte senkrecht, in dem inneren dagegen schräg. Da das Trommelfell den äusseren Gehörgang

schräg abschliesst, so wird letzterer in seinem inneren Ende von der Paukenhöhle überlagert. Sein inneres Ende zeigt zur Befestigung des Trommelfells eine Furche, welche seinen hinteren, unteren und vorderen Umfang umgibt (Trommelfellfalz, Sulcus tympanicus), nach oben hat dieser eine Unterbrechung von 2,5—3 mm Länge, den Rivini'schen Ausschnitt. Direct an dem Trommelfellfalze zeigt sich das innere Ende der Glaser'schen Spalte, in welcher der lange Fortsatz des Hammers befestigt ist, und in welcher das Ligamentum mallei anterius liegt. Die Ebene des Trommelfells bildet zur Mittelebene des Kopfes einen nach oben und hinten offenen Winkel, mit dem äusseren Gehörgang bildet es einen Winkel von etwa 55°, die Trommelfelle beider Seiten bilden mit einander einen nach oben offenen stumpfen Winkel von 130—135°.

Zum Bau des mittleren Ohrs.

Die Paukenhöhle (deren Anatomie wir, wie die des ganzen Gehörorganes, im Allgemeinen als bekannt voraussetzen) und die in ihr eingeschlossenen Theile dienen dazu, um die Schwingungen der Luft hinreichend kräftig auf das Wasser des Labyrinths zu übertragen. Die Paukenhöhle ist von dem inneren Ende des äusseren Gehörganges durch das Trommelfell abgegrenzt, eine dünne,

Fig. 230.



Querschnitt der Ohrtrompete mit ihrer Umgebung. 1 Mediale Knorpelplatte. 2 Lateraler Knorpelhaken. 3 Musc. dilatator tubae. 4 Musc. levator veli palatini. 5 Fibrocartilago basilaris. 6 u. 7 Acinöse Drüsen. 8 Fettlager an der lateralen Wand. 9 Sicherheitsröhre. 10 Hülfsspalte. 11 Falten der Schleimhaut. 12 Lateralwärts angrenzendes Gewebe.

in einem knöchernen Ringe (cf. oben) ziemlich schlaff (Helmholtz) ausgespannte Membran. Nach innen ist die Paukenhöhle von dem Labyrinthe durch knöcherne

Wände getrennt, in welchen sich zwei durch direct an das Labyrinthwasser angrenzende Membranen verschlossene Oeffnungen, Fenster, finden. In dem oberen, dem ovalen Fenster ist die Fussplatte des Steigbügels befestigt, so dass derselbe durch die Kette der Gehörknöchelchen mit dem Trommelfelle in Verbindung steht, das untere, runde Fenster ist nur durch eine Membran: Membrana tympani secundaria, geschlossen. Mit dem oberen Theile der Schlundhöhle steht die Paukenhöhle durch die mit einer flimmernden Schleimhaut ausgekleidete **Eustachische Trompete** in Verbindung, deren dem Schlunde zugekehrte Oeffnung wie die Mündung einer Tuba erweitert ist, in der Mitte ist sie zu einer kapillaren Spalte verengt. Ihr gegen die Paukenhöhle zugewendeter Theil besitzt eine knöcherne, die übrigen Abschnitte eine knorpelige Grundlage. Der Tubarknorpel stellt in seinem Hauptabschnitte eine winkelig zusammengebogene Platte dar, die auf Querschnitten als Knorpelhaken erscheint (Fig. 230). Der willkürliche Musculus dilatator tubae (v. Tröltsch) vom Musculus tensor palati mollis hat in der ganzen Länge der Ohrtrompete seinen Ansatz an dem stumpfen Ende der lateralen Knorpelplatte, indem seine platte Sehne mit dem Perichondrium des Hakenendes zusammenfliesst. Bei der Zusammenziehung des Muskels wird der Haken gegen den Hamulus pterygoideus hingezogen und die Tubarspalte, deren Schleimhautflächen in ihrem mittleren Abschnitt direct an einander liegen, dadurch eröffnet.

Der Musculus dilatator tubae geht nach oben direct in den Musculus tensor tympani über (v. Tröltsch, L. Mayer, Rüdinger). Während der Erschlaffung des Muskels drücken die gegen einander federnden Knorpelplatten in dem Mittelstück der Ohrtrompete die Schleimhautflächen an einander und verschliessen dadurch hier das Röhrenlumen, der obere Abschnitt ist dagegen nicht vollkommen verschlussfähig. Rüdinger (cf. dessen oben gegebene Abbildung, Fig. 230) nennt den sich in dem oberen Abschnitt findenden halbcylindrischen Raum unter dem Knorpelhaken: Sicherheitsröhre, seitlich schliesst sich an sie die nur durch die Muskelwirkung zu öffnende Hülfsspalte an.

Die Tuba dient zur Abführung des Secrets der Schleimhaut der Paukenhöhle sowie ihres eigenen. Ihre wichtigste Aufgabe scheint die zu sein, durch ihren knorpelig-muskulösen Mechanismus die Paukenhöhle zu ventiliren, die Verbindung der Luft der Paukenhöhle mit der äusseren Luft zu unterhalten und dadurch für die Schallschwingungen des Trommelfells störende Druckunterschiede auf den beiden Seiten des letzteren zu verhindern oder eingetretene auszugleichen (Mach und Kessel). Wenn man bei Verschluss von Mund und Nase die Luft im Munde zusammenpresst oder durch Saugen verdünnt, so tritt bei Schluckbewegungen mit einem deutlichen Gefühl von Spannung im Trommelfell und einem Knacken im Ohre Luft in die Paukenhöhle entweder ein oder aus ihr heraus (Valsalva's Versuch). Bei allen Schluckbewegungen, bei denen der Tensor palati mollis in Thätigkeit kommt, öffnet sich die Tuba, wodurch etwaige Druckunterschiede zwischen der Luft der Paukenhöhle und der äusseren Luft ausgeglichen werden (cf. unten). Ob die Tuba eine Rolle bei der Schallleitung spielt und welche, ist noch Gegenstand der Controverse; man bringt sie mit dem deutlichen Hören der eigenen Stimme in Verbindung. Eine in den Mund gehaltene Uhr hört man jedoch, wenigstens bei geschlossener Tuba, schlecht. Dauernder Verschluss der Tuba bringt Schwerhörigkeit hervor, vielleicht oder wahrscheinlich durch Ver-

änderung des Luftdrucks in der Paukenhöhle und dadurch veranlasste stärkere Trommelfellspannung (cf. unten).

Nach unserer Darstellung ist die Tuba gewöhnlich geschlossen. E. Mach und J. Kessel machen darauf aufmerksam, dass der Tuba-Verschluss für die Schwingungen des Trommelfells erforderlich ist. Wenn das Trommelfell von beiden Seiten in gleicher Weise den Schallwellen zugänglich wäre, so könnte es durch dieselben nicht in Schwingungen versetzt werden. Andererseits ist aber eine Druckdifferenz zu beiden Seiten des Trommelfells ein beträchtliches Hinderniss der Beweglichkeit desselben. Die Tuba muss daher zur Ausgleichung solcher Unterschiede zeitweilig geöffnet werden können. Diese Oeffnung tritt bei dem Schluckakt ein. Nach Schwartze und Lucae soll bei jeder Athmung sich die Tuba öffnen und der Druck im Trommelfell sich dadurch ändern. Mach und Kessel führen letzteres auf eine mit der Athmung auf- und absteigende Bewegung des Sekretes in der kapillären Spalte der Tuba zurück, während sie eine Eröffnung der Tuba nur beim Schluckakte zugeben. A. Lucae behauptet im scheinbaren Gegensatz gegen unsere obige Darstellung, dass bei energischer Erhebung des Gaumensegels, also namentlich während der Schlingbewegungen und der Stimmgebung, ein Verschluss der Mündung der Tuba Eustachii eintrete.

Das Trommelfell hat im Allgemeinen eine elliptische Form, deren Regelmässigkeit der nach vorn und oben gelegene sogenannte Rivini'sche Ausschnitt stört. Die längere Axe des Ellipsoides geht von hinten und oben nach vorn und unten, die kürzere von vorn und oben nach hinten und unten. Der längere Durchmesser misst zwischen 9,5—10 mm, der kürzere 8 mm (J. Kessel). Die Mitte des Trommelfells, der Nabel, ist durch den hier an der inneren Seite der Membran befestigten Handgriff des Hammers, welcher durch die Befestigung des Hammers (cf. unten) einwärts gezogen wird, ziemlich stark nach innen gespannt, wodurch die Membran eine trichterförmige Wölbung bekommt, deren Spitze die Spitze des Hammerhandgriffs darstellt. Die Wände dieses Trichters sind gegen seine Oeffnung convex gewölbt, am geringsten ist diese convexe Wölbung an dem von dem Nabel aus nach oben und vorn verlaufenden Meridiane, in welchem der Stiel des Hammers an das Trommelfell sich anlegt. Der kurze Fortsatz an der Basis des Hammerstiels drängt das Trommelfell etwas nach aussen. Das Trommelfell ist in dem Trommelfellfalz mit einem verdickten Saum: Sehnenring, Ringwulst, Annulus tendineus eingefügt. Im Uebrigen ist es nur etwa 0,1 mm dick, lässt aber drei verschiedene Schichten unterscheiden. Seine mittlere fibröse Schicht: Membrana propria s. fibrosa tympani ist nach aussen von einer Schicht der Cutis, nach innen von einer Schicht der Paukenhöhlenschleimhaut überkleidet.

Der Annulus tendineus zeigt ausser feinen elastischen Fasern vorzugsweise radiär verlaufende Sehnenfasern, welche zum grossen Theil aus den radiären Fasern des Trommelfells stammen und von Fasern anderer Richtung dicht durchflochten sind. Nach vorn und hinten stehen die Fasern des Ringwulstes in continuirlicher Verbindung mit den Fasern der Cutis und des Periosts des Gehörgangs sowie mit denen des Periosts und der Schleimhaut der Paukenhöhle. Am Rivini'schen Ausschnitt fehlt der Ringwulst, hier verlaufen die Fasern theils direct in die Grundlage der Cutis und des Periosts des Gehörgangs, theils wenden sie sich nach unten zur Anlagerungsstelle des kurzen Hammerfortsatzes, dadurch wird ein dreieckiger oder halbmondförmiger Raum, die Membrana flaccida, des Trommelfells gebildet; hier zeigt das Trommelfell eine geringere Spannung und ist häufig in die Paukenhöhle etwas eingesunken.

Die Membrana propria tympani lässt auf der äusseren Seite radiär,

auf der inneren circulär verlaufende Fasern erkennen, zwischen welche sich Fasern von unregelmässigerem Verlaufe einschieben. Für ihre radiären Fasern bildet in der Hauptsache die Spitze des Hammerstiels das Ausstrahlungscentrum, hier ist deren Schicht am dicksten. Umgekehrt verdickt sich die Schicht der circulären Fasern gegen die Peripherie zu und umgibt wulstförmig den Rand des eigentlichen Trommelfells, an der äussersten Peripherie fehlen die Circularfasern (Gerlach). Im Ganzen ist das Trommelfell nicht eine elastische nachgiebige, sondern eine fast unausdehnsame Membran (Helmholtz).

Die drei Gehörknöchelchen bilden die bekannte gebogene Kette zwischen Trommelfell und ovalem Fenster.

An dem Körper des Hammers befindet sich nach oben durch eine leichte Einschnürung abgegrenzt der rundliche Kopf, der nach hinten und innen die im Allgemeinen sattelförmig gestaltete Gelenkfläche mit dem Amboss trägt. Nahezu in der Verlängerung des Halses geht der Handgriff oder Hammerstiel ab, der mit einer von aussen nach innen spatelförmig abgeflachten Spitze im Trommelfell befestigt ist. Der zarte lange Fortsatz des Hammers ist in der Fissura Glaseri durch Bandmasse gehalten. Der kurze Fortsatz, welcher unter dem Halse nach aussen abgeht, legt sich mit seiner konischen Spitze an das Trommelfell an. Der Amboss ähnelt einem zweiwurzeligen Backenzahne, dessen Krone die Gelenkfläche mit dem Hammer trägt. Sein kurzer Schenkel wendet sich nahezu horizontal nach rückwärts und ist durch Bandmasse straff an die hintere Wand der Paukenhöhle befestigt. Der lange Schenkel ragt allmälig schmäler werdend nahezu parallel dem Hammerstiele (Helmholtz) frei in die Paukenhöhle hinein, an seinem Ende biegt er sich nach innen und verdünnt sich ziemlich bedeutend. An diesem Ende sitzt ein, bei Erwachsenen meist mit dem langen Ambossschenkel fest verwachsenes rundes Knöchelchen, Ossiculum lenticulare s. Processus lenticularis, welches mit dem Knopf des Steigbügels, der dazu einen leichten überknorpelten Eindruck zeigt, artikulirt. Durch die beiden Schenkel ist der Knopf des Steigbügels mit seiner Fussplatte verbunden, welche in dem Sulcus stapedis des ovalen Fensters befestigt ist. Die Fussplatte hat, wie das ovale Fenster, eine nierenförmige Gestalt und biegt sich gegen den Vorhof etwas aus. Der vordere Schenkel ist gerade und etwas kürzer als der stärker gekrümmte hintere Schenkel des Steigbügels.

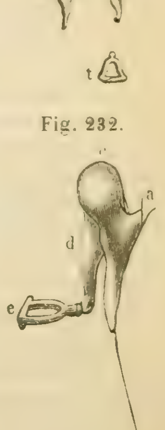


Fig. 231.

Fig. 232.

Verbindung der Gehörknöchelchen. — Der Hammer ist an dem Trommelfell mit seinem kurzen Fortsatz und dem Handgriff befestigt. Das spatelförmige Ende des letzteren wird von Fasern, die dem Perioste angehören, kreisförmig umzogen; im unteren Theile gesellen sich auch radiär und gekreuzt verlaufende Fasern dazu. Mit dem Periost des oberen Abschnitts des Hammergriffs ist die Sehnenhaut des Trommelfells nur durch lockeres Bindegewebe verbunden, so dass eine geringe Verschiebung möglich ist (Kessel). Von Anderen wurde eine unvollkommene gelenkartige Verbindung gegen den kurzen Fortsatz hin zwischen dem Knochen und dem Trommelfell beschrieben. An der Anlagerungsstelle des Knochens ist das Trommelfell verdickt zum Theil durch Einlagerung faserknorpeligen Gewebes, zum Theil durch Faserzüge der Cutisschicht (Gruber). Sonst ist der Hammer durch Bänder in der Paukenhöhle befestigt, von denen man gewöhnlich ein oberes, vorderes und äusseres beschreibt. Nach Helmholtz bilden die hintersten Stränge des Ligamentum mallei externum, denen er den Namen L. m. posticum beilegt, mit den nur durch den Körper des Hammers von ihnen getrennten, in der directen Verlängerung der ersteren liegenden mittleren stärksten Züge des Ligamentum m. anterius in mechanischer Beziehung ein Band, das Axenband

des Hammers, welches die Drehungsaxe des Hammers darstellt. Das Ligamentum m. anterius besteht aus Fasern, welche von der Spina angularis des Keilbeins entspringen, durch die Fissura Glaseri verlaufen und sich am Hammerhals ansetzen.

Das Hammerambossgelenk ist im Ganzen ein Sattelgelenk. Sein Kapselband ist sehr fest und straff, wodurch die Drehungsmöglichkeit der Knochen gegen einander sehr beschränkt wird, diese beträgt im Ganzen nach Helmholtz kaum 5°. Das Gelenk erlaubt diese Drehung um eine quer durch den Kopf des Hammers gegen den kurzen Fortsatz des Amboss hinlaufende Axe. Der Drehung für die Einwärtstreibung des Hammers setzt sich nach Helmholtz ein Paar von Sperrzähnen im Gelenke entgegen; dagegen kann der Hammerstiel auswärts getrieben werden, ohne den Amboss mitzunehmen. Nach Rüdinger liegt ein 0,04 bis 0,06 mm dicker Faserknorpel, der an einer Seite mit der Kapsel verwachsen ist, zwischen den beiden Gelenkflächen.

Der kurze Ambossschenkel ist durch das straffe hintere Ambossband mit der Paukenhöhlenwand verbunden. Der Schenkel selbst und die Anlagestelle an der Paukenhöhle zeigt sich mit hyalinem Knorpel überzogen (Rüdinger), sonach haben wir hier auch eine Art von Gelenk. Nach Rüdinger ist die Verbindung des Steigbügels mit dem Amboss ein durch eine Faserknorpelscheibe in zwei Abtheilungen getrenntes Doppelgelenk mit fibröser Kapsel und allseitiger Beweglichkeit, im Allgemeinen eine Arthrodie. Die in die Gelenke der Gehörknöchelchen eingelagerten Knorpelscheiben betrachtet Rüdinger als elastische Polster mit der Wirkung von Puffern.

Die Verbindung der Fussplatte des Steigbügels mit dem ovalen Fenster entspricht ebenfalls einem Gelenke, sie ist nach Rüdinger ein Halbgelenk. Die überknorpelten, einander zugewendeten Ränder werden durch elastische Faserzüge, das Ringband des Steigbügels, mit einander verbunden. Die Fasern laufen von den Knorpeln aus gegen einander; wo sie zusammentreffen, entsteht durch netzartige Vereinigung der Gewebsbündel ein mit Flüssigkeit gefülltes Lückensystem (Rüdinger). Für die Steigbügelbasis bleibt, da die Durchmesser des ovalen Fensters durch den Knorpelbeleg verkleinert, die der Fussplatte dagegen vergrössert werden, ein nur sehr geringer Spielraum der Beweglichkeit. Am hintersten Umfang ist die Verbindung am festesten.

Entgegen den Anschauungen Rüdinger's u. A., dass die Verbindung der Gehörknöchelchen durch Gelenke hergestellt sei, steht die Angabe G. Brunner's, nach welcher Gelenke hier gar nicht vorkommen, sondern die Knöchelchen durch Symphysen mit einander verbunden sind.

An den Gehörknöchelchen greifen bekanntlich zwei quergestreifte, willkürliche Muskeln an. Die Fasern des Trommelfellspanners, M. tensor tympani, für seinen dünnen 1,2—1,6 mm langen Muskelbauch entspringen (cf. oben) vom knorpeligen Theil der Ohrtrompete und den angrenzenden Keilbeinpartien, der Muskelbauch dringt in den über dem knöchernen Abschnitt der Tuba gelegenen Canalis tensoris tympani ein, an dessen Wänden noch einige seiner Fasern ihren Ursprung nehmen. Der Verlauf des Muskelbauchs in seinem Canale ist nahezu horizontal von vorn und innen nach hinten und aussen bis an das vordere Ende des ovalen Fensters, hier biegt sich seine dünne Sehne ziemlich in rechtem Winkel über den Rand des als Rolle dienenden Processus trochleariformis und setzt sich an den Rand des oberen Endes des Hammergriffs an. Zu dem Muskel gelangt aus dem Ganglion oticum ein kleiner Nervenzweig, der vom Trigeminus abstammt. Der Steigbügelmuskel, M. stapedius, entspringt dicht an dem absteigenden Theile des Fallopischen Canals, aus dem seine feine Sehne in die Trommelhöhle heraustritt, um sich an den Knopf des Steigbügels und an die Kapsel des Ambosssteigbügelgelenkes anzusetzen (Rüdinger). Rüdinger beschreibt als M. fixator baseos stapedis ein aus spindelförmigen Zellen bestehendes Bündel, welches von einem feinen Knochenvorsprung hinter dem eiförmigen Fenster entspringt und sich mit breiter werdender Basis im Winkel zwischen dem Steigbügelschenkel und dem etwas abstehendem Theil der Fussplatte, sowie an ihrem oberen Rand befestigt. Man kann ihn als Antagonist des

willkürlichen Musculus stapedius auffassen, er fixirt die Basis an jener Stelle, welche durch die einseitige Wirkung des M. stapedius gegen den Vorhof bewegt wird (RÜDINGER).

Unter die anatomischen Bildungen des mittleren Ohres gehören noch die Zellenräume des Warzenfortsatzes, welche unter sich communicirende und mit der Paukenhöhle durch das Antrum mastoideum zusammenhängende Hohlungen darstellen. Sie sind mit einer dünnen Fortsetzung der Paukenhöhlenschleimhaut ausgekleidet. Der Rauminhalt der Trommelhöhle darf nicht unter eine gewisse Grenze sinken, um die Trommelfellschwingungen nicht zu beeinträchtigen. Wäre die Luftmasse sehr klein, so würde sie grösseren Schwingungen des Trommelfells bald unüberwindliche Hindernisse entgegensetzen. Die Hohlräume des Warzenfortsatzes vergrössern den Trommelfellraum, ohne, ihrer unregelmässigen Gestalt wegen, der Resonanz nachtheilig zu werden (MACH und KESSEL).

Die Schleimhaut der Paukenhöhle steht im Zusammenhang mit der Tuba. Sie überkleidet nicht nur die Wände der Trommelhöhle, sondern auch die in dieser gelegenen Theile, zu diesem Zwecke steigen zwei Falten vom Dache der Hohle herab, von denen die vordere die Sehne des Tensor tympani, die hintere den Steigbügel überkleidet. Auf den Hammer und Amboss geht die Schleimhaut der äusseren Wand über. Die oberste Schleimhautschicht bilden ziemlich hohe flimmernde Cylinderzellen, die Höhe der Zellen nimmt an der Trommelfellgrenze allmählig ab, und das Trommelfell selbst ist von einer einfachen Lage von Plattenepithel überkleidet. Nach v. TRÖLTSCH und WENDT finden sich in der Paukenschleimhaut eine oder mehrere traubenförmige Schleimdrüsen.

Schallleitung im mittleren Ohr.

Die Schallwellen der Luft werden im mittleren Ohre zum Theil in Schwingungen des Trommelfells und in Bewegung der Gehörknöchelchen umgesetzt und auf diese Weise dem Labyrinthwasser zugeleitet. Ein anderer Theil der Schallwellen geht an die Luft der Paukenhöhle über und kann auf diesem Wege auf das Labyrinthwasser und die Enden des Gehörnerven übertragen werden. Dieser letztere Theil der Schallleitung spielt jedoch normal nur eine untergeordnete Rolle, da sich die Schallwellen nur verhältnissmässig schwierig von festen Theilen auf Luft und umgekehrt von Luft auf feste Theile fortpflanzen. Nach ED. WEBER bilden Amboss und Hammer zusammen einen festen Winkelhebel, dessen Drehungsaxe vom Processus folianus des Hammers zur Spitze des kurzen Ambossfortsatzes hinläuft, beide werden und mit ihnen der Steigbügel durch die Schwingungen des Trommelfells als Ganzes bewegt, und ebenso ist auch das Labyrinthwasser als eine nur im Ganzen zu bewegende Flüssigkeitsmasse zu betrachten.

JOH. MÜLLER hatte mit SAVARD angenommen, dass in den betreffenden Leitungsapparaten die Schallwellen als Verdünnungs- und Verdichtungswellen fortschreiten. HELMHOLTZ weist im Anschluss an E. WEBER mathematisch nach, dass diese Annahme wegen der Kleinheit der betreffenden Organe unstatthaft ist. Die Wellenlänge beinahe aller Töne der Scala ist im Verhältniss zur Kleinheit der Apparate des mittleren und inneren Ohres sehr gross. Die Membranen, Gehörknöchelchen, das Labyrinthwasser sind daher in dieser Beziehung als inkompressibel zu betrachten, die Verschiebungen ihrer eigenen Theile im Sinne einer Verdichtungs- und Verdünnungswelle ist vollkommen verschwindend gegen die Amplitude der Schallschwingung: sie können also nur als Ganzes schwingen, und die Schwingung des Trommelfells pflanzt sich so gut wie

momentan auf das Labyrinthwasser und durch dieses fort, alle diese Theile sind immer in gleicher Phase der Schwingung begriffen. Das Gleiche gilt (Helmholtz) bei den tieferen und mittleren Tönen der Scala auch für die im Gehörgang und in der Trommelhöhle enthaltene Luft.

Durch Bewegungen des Trommelfells wird die Kette der Gehörknöchelchen in Bewegung gesetzt. Der Hammer allein würde Helmholtz sich dabei um sein Axenband als Axe drehen, durch die Verbindung mit dem Amboss wird seine Drehung etwas modificirt, es treten geringe Verschiebungen des Hammers gegen den Amboss ein, welche nach Helmholtz die Bedeutung haben, dass der Nabel des Trommelfells immer in einer gegen die Ansatzebene senkrechten Richtung bewegt wird, letzterer würde durch die Drehung des Hammers allein, da dessen Axenband gegen die Ansatzebene schief gerichtet ist, etwas nach hinten verschoben werden.

Durch den Zug des M. tensor tympani werden alle Befestigungsbänder der Gehörknöchelchen straff gespannt. Bei seiner Contraction zieht der Muskel zunächst den Hammerstiel und mit ihm das Trommelfell nach innen, nach derselben Richtung zieht er auch das Axenband und strafft dasselbe an. Gleichzeitig wird der Hammerkopf vom Ambosspaukengelenk entfernt, dadurch auch die Haftbänder des Amboss gespannt, sowohl die gegen den Hammer als die an der Spitze seines kurzen Fortsatzes, so dass diese etwas vom Knochen abgehoben wird. Der Amboss bekommt dadurch die Stellung, in welcher die Sperrzähne des Hammerambossgelenkes am festesten in einander greifen. Endlich muss sein langer Schenkel die Einwärtsdrehung des Hammerstiels mitmachen, dadurch auf den Steigbügel drücken und dessen Fussplatte in das ovale Fenster gegen das Labyrinth einpressen (Helmholtz). Nach den oben angegebenen Beobachtungen Rüdinger's bewirkt der M. stapedius eine straffe Anziehung auch des Ambosssteigbügelgelenkes. Durch die Spannung der beiden Muskeln werden also die Verbindungen der Knöchelchen so gefestet, dass das System mit dem Trommelfell als Ganzes schwingen kann.

Die Beweglichkeit der Steigbügelfussplatte ist, wie directe Beobachtungen von Helmholtz und die oben gegebene Darstellung der Verbindung mit dem eirunden Fenster lehren, eine sehr geringe, die grössten Werthe, welche Helmholtz dafür fand, betrugen zwischen $\frac{1}{14}$ und $\frac{1}{18}$ mm. Bei dem Einwärtsziehen des Hammerstiels drückt der lange Ambossschenkel fest auf das Knöpfchen des Steigbügels. Beim Nachauswärtsziehen des Hammerstiels übt dagegen der Amboss normal keinen Zug auf den Steigbügel aus, da dabei die nach dieser Richtung möglichen Drehungen in dem Hammerambossgelenke eintreten. Diese Einrichtung hat den Erfolg, dass das Trommelfell mit dem Hammer beträchtlich nach aussen getrieben werden kann, ohne dass der Steigbügel aus dem ovalen Fenster ausgerissen würde. Gegen zu starke Einwärtsbewegungen des Trommelfells bildet letzteres selbst ein sehr kräftiges Hemmungsband. Die Hauptaufgabe der Gelenke der Gehörknöchelchen scheint also darin zu bestehen, dass sie alle ausgiebigeren Bewegungen des Trommelfells, wie sie normaler Weise vorkommen, möglich machen, ohne dass dadurch die Verbindung des Steigbügels mit dem eirunden Fenster zerstört würde. Die Bewegungen des Steigbügels gehen nicht nur um seine Längenaxe, sondern auch um eine Queraxe

der Fussplatte vor sich. Bei der Einwärtstreibung des langen Ambossschenkels wird dessen Spitze und damit das Steigbügelknöpfchen und der ganze Steigbügel etwas gehoben, was durch die ungleiche Festigkeit seiner Befestigung am obern und untern Rand des ovalen Fensters gestattet wird (HENKE, LUCAE, POLITZER). Dadurch wird bei der Einwärtstreibung des Steigbügels in das Fenster der obere Rand der Fussplatte etwas mehr als der untere vorwärtsgeschoben.

Wenn die Gelenke des Hammers und Amboss in der dargestellten Weise durch Muskelwirkung gefestet sind, so kann man nach HELMHOLTZ das System der beiden Knöchelchen als einen einarmigen Hebel betrachten, dessen Hypomochleon da liegt, wo die Spitze des kurzen Fortsatzes des Amboss sich nach aussen hin gegen die Wand der Trommelhöhle anstemmt. Die Spitze des Hammerhandgriffs stellt den Angriffspunkt der Kraft dar, die Spitze des langen Ambossschenkels den Punkt, der auf die Last wirkt. Diese drei Punkte liegen in der That nahezu in einer geraden Linie. HELMHOLTZ bestimmte die ganze Länge dieses Hebels zu $9^1/_2$ mm, den kürzeren Arm zwischen den beiden Spitzen des Amboss zu $6^1/_3$, so dass derselbe genau zwei Dritttheile des längeren beträgt. Daraus folgt, dass bei gefestetem Hammerambossgelenk die Excursionen der Spitze des langen Ambossschenkels nur $^2/_3$ von der des Hammerstiels betragen können, die Grösse des Drucks aber, der auf den Steigbügel ausgeübt wird, muss $1^1/_2$ mal so gross sein als die Kraft, welche gegen die Spitze des langen Ambossschenkels wirkt. So lange die Gehörknöchelchen fest in einander greifen, beschränkt sich die Verschiebung des Hammers und Steigbügels auf Amplituden, die kleiner als 0,1 mm sind. Ohne den Amboss kann der Hammer etwa 9mal grössere Excursionen ausführen. Der M. fixator bas. stap. kann, wie es scheint, aktiv noch weiter die Beweglichkeit des Steigbügels herabsetzen.

POLITZER befestigte Glasfäden als Fühlhebel an die Gehörknöchelchen und bestimmte dadurch die Drehungsaxen derselben. Das Trommelfell wurde durch Luftdruck vom Gehörgang aus in Bewegung gesetzt. Er fand, dass die Axe des Hammers durch die Wurzel des Processus folianus geht, die des Amboss durch die Spitze des kurzen Fortsatzes, beide Axen seien aber nicht fest, sondern beweglich. HELMHOLTZ' Versuche sind grossentheils nach POLITZER's Methode angestellt.

Durch die Contraction des M. tensor tympani wird an sich schon der Steigbügel in das ovale Fenster tiefer eingetrieben, wodurch das Labyrinthwasser einen stärkeren Druck erfährt. POLITZER bewies das experimentell dadurch, dass er an einem frisch getödteten Hunde in den halbcirkelförmigen Canal ein Manometer einsetzte, welches bei Reizung des N. trigeminus, von dem der Muskel versorgt wird, einen stärkeren Druck des Labyrinthwassers anzeigte. HELMHOLTZ bemerkte bei anderweitig erzielter Bewegung der Gehörknöchelchen dieselbe Drucksteigerung nach der gleichen Methode. Durch den gesteigerten Druck im Labyrinthe werden Bewegungen seiner Flüssigkeit, respective der Membran des runden Fensters in geringerem Grade möglich, eine bestimmte Intensität der Schallschwingungen bringt dann eine schwächere Wellenbewegung in dem Labyrinthwasser hervor. Wir haben hier sonach einen Dämpfungsapparat gegen stärkere Schallschwingungen, das Ohr wird während seiner Einwirkung vorübergehend etwas schwerhöriger.

Das Trommelfell. Gespannte Membranen werden wie gespannte Saiten durch die Schallbewegungen der Luft im Allgemeinen dann in Mitbewegung versetzt, wenn ihre Schwingungszahl, resp. ihr Eigenton mit der des erregenden Tones entweder übereinstimmt oder ein Vielfaches desselben ist. Das Trommelfell unterscheidet sich von einfachen gespannten Membranen akustisch dadurch, dass

es innerhalb gewisser Grenzen von einfachen Tönen und Klängen beliebiger Höhe in Schwingungen versetzt werden kann, welche nach Schwingungszahl und Intensität dem erregenden Tone oder Klange entsprechen. Helmholtz hat die akustischen Eigenschaften einer wie das Trommelfell trichterförmig gekrümmten Membran mit gegen das Lumen des Trichters convexer Wand untersucht. Die Spannung des Trommelfells wird durch den Handgriff des Hammers, der es durch seine Befestigungsbänder und je nach der Spannung des Tensor tympani mehr oder weniger nach innen zieht, bedingt. Die convex gegen das Trichterlumen gekrümmte Form der Radialfasern des Trommelfells wird durch die Spannung seiner Ringfasern vermittelt. Die Schallerschütterung wirkt stets senkrecht gegen die Wölbung der Radialfasern, welche ziemlich flache Bogen bilden. Durch diese Anordnung entsteht, wie Helmholtz mathematisch nachweist, derselbe mechanische Effect, als wirke der Luftdruck am Ende eines sehr langen Hebelarms, während die Spitze des Hammerstiels das Ende eines sehr kurzen Hebelarms bildet. Eine im Verhältniss sehr grosse Verschiebung des Trommelfells in Richtung des auf sie wirkenden Luftdrucks bringt eine relativ kleine Verschiebung der Hammerspitze hervor, und es kann daher schon ein verhältnissmässig geringer Werth des Luftdrucks einer relativ grossen am Hammergriff wirkenden Kraft das Gleichgewicht halten oder eine solche ersetzen. Die Verschiebung des Trommelfells, namentlich seines centralen Abschnitts, ist wenigstens dreimal grösser als die dadurch veranlasste Bewegung der Spitze des Hammerstiels. Helmholtz hat an einem in der Form des Trommelfells getrockneten Stück Schweinsblase die akustischen Wirkungen einer ähnlich wie das Trommelfell gekrümmten Membran studirt. Er leitete ihr durch ein aufgesetztes Stäbchen die Schwingungen einer Saite zu. Er fand, dass die gekrümmte Membran trotz ihrer Kleinheit eine mächtige Resonanz zeigte, fast der einer Violine ähnlich, und zwar erstreckt sich diese Resonanz wie beim Trommelfell über einen sehr grossen Theil der Scala, und sie wird namentlich für hohe Töne in der Mitte der viergestrichenen Octave so mächtig, dass sie kaum zu ertragen ist. Umgekehrt konnte auch von der gekrümmten Membran aus die mit ihr verbundene Saite, wenn deren Eigenton angegeben wurde, leicht und stark in Mitschwingungen versetzt werden, so dass die Verhältnisse mit den am Trommelfell beobachteten gut übereinstimmen.

Nachschwingungen des Trommelfells werden durch die grossen Widerstände gegen seine Bewegung, die Verbindung mit den Gehörknöchelchen verhindert.

Das Trommelfell kann in seiner Spannung wechseln sowohl durch die Wirkung des M. tensor tympani als durch Veränderung des Luftdrucks in der Paukenhöhle.

Durch das Einwärtsziehen des Hammerstiels durch den M. tensor tympani wird die Spannung des Trommelfells gesteigert, dasselbe ist durch den gesteigerten Luftdruck der Fall, sowohl wenn wir durch die Eustachische Trompete Luft in die Trommelhöhle pressen, als wenn wir künstlich den Luftdruck auf die Aussenfläche des Trommelfells steigern, dadurch, dass wir durch Herausziehen von Luft aus der Paukenhöhle die Luft in derselben verdünnen, wodurch die Membran stärker nach innen gewölbt wird.

Eine stärkere Spannung des Trommelfells macht dieses im Allgemeinen weniger geschickt, in Schwingungen zu gerathen, sie ist daher ein Dämpfungsmittel für heftige Schallbewegungen (J. Müller). Gleichzeitig wird, wie man sich etwas uneigentlich auszudrücken pflegt, durch die stärkere Spannung das Trommelfell gewissermassen für hohe, durch Abspannung also mehr für tiefe Töne accommodirt. Schon bei gewöhnlicher Trommelfellspannung hören wir sehr tiefe Töne schwächer als hohe. Bei jeder stärkeren Spannung der Membran tritt stets die oben erwähnte allgemeine Schalldämpfung ein (was Schapringer auch für willkürliche Spannung des Tensor bestätigt). Die Dämpfung macht sich am auffallendsten für starke Schallschwingungen bemerklich, dagegen lassen schwache Töne aus den mittleren und höheren Lagen der Scala, und hierin liegt die angegebene Accommodation, eine weniger auffällige Schwächung erkennen, als die tieferen Töne, die man bei stärkerer Trommelfellspannung unter allen Umständen merklich geschwächt hört, während die höheren Töne nun relativ hervortreten. Helmholtz zeigte direct, dass bei Abspannung des Trommelfells auch die Intensität der Empfindung hoher Töne zunimmt, nicht nur die der tieferen. Dagegen sah C. J. Blake in zwei Fällen von willkürlicher Contraction des Tensor tympani die Grenze der wahrnehmbaren höchsten Töne während der Contraction um 1500—2500 Schwingungen in die Höhe gehen. Ob die Contraction des Tensor tympani und damit die Spannung des Trommelfells willkürlich oder reflektorisch vom Akustikus oder von den sensiblen Nerven des äusseren Gehörganges aus (Harless) verändert wird, ist noch Kontroverse, eine Accommodation der Trommelfellspannung beim Horchen auf höhere Töne wird von Mach und Kessel nach Versuchen am lebenden Ohr entschieden in Abrede gestellt. Einige können die Spannung des Tensor tympani sicher willkürlich erregen (J. Müller) (cf. unten).

Gegen die Helmholtz'sche Darstellung leitet auch A. Lucae aus seinen Versuchen ab, dass das Ohr in seinen beiden Binnenmuskeln einen wahren Accommodationsapparat besitze. Die Innervation des Tensor tympani bewirke Accommodation für die in der Musik gebräuchlichen Töne bis zu $c^6 = 9192$ Schwingungen; die Innervation des Stapedius dagegen für die höheren, in der Musik nicht verwendeten Töne. Wie man den Tensor tympani durch willkürliche Bewegung der Kaumuskeln, so kann man nach A. Lucae den Stapedius durch willkürliche Actionen des Orbicularis palpebrarum zu Mitbewegungen veranlassen. Durch die Innervation des Stapedius werden die höchsten nicht mehr musikalischen Töne verstärkt, welche durch die Innervation des Tensor abgeschwächt werden.

A. Lucae hat auch durch Versuche nachgewiesen, dass das Trommelfell die auftreffenden Schallschwingungen theilweise reflectirt. Je stärker die Trommelfellspannung ist, z. B. nach Anstellung des Valsalva'schen Versuchs, desto stärker ist die Reflexion der Schallwellen. Der bei stärkerer Trommelfellspannung eintretenden subjectiven Dämpfung des Tones, die wir oben beschrieben haben, entspricht objectiv eine stärkere Reflexion, d. h. von den auf die stärker gespannte Membran auftreffenden Schallwellen wird ein geringerer Theil aufgenommen, resp. durchgelassen, ein grösserer Theil wird zurückgeworfen. Mit zunehmender Spannung nähert sich bei allen Membranen die akustische Reflexionsfähigkeit mehr und mehr der an einer starren Fläche. Lucae nennt den zu seinen Untersuchungen benutzten, von Quincke angegebenen Apparat: Interferenz-Orthoskop. Der Ton einer Stimmgabel wird durch ein Kautschukrohr in das Ohr geleitet, während ein gabelig getheiltes Seitenrohr zu den Ohren der untersuchten Person führt. Der Untersucher vernimmt also directe und zugleich von dem untersuchten Trommelfell reflektirte Wellen; der Ton der Stimmgabel wird bei bestimmter

Länge des Seitenrohrs durch Interferenz beider Schallwellen um so mehr gedämpft, je stärker die Reflexion ist.

Die oben erwähnte Schiefstellung des Trommelfells vergrössert die Oberfläche und damit die Schwingungsfähigkeit der Membran, sie ermöglicht es auch, dass eine grössere Zahl der von den Wänden des äusseren Gehörganges reflektirten Schallwellen auf die gesammte Trommelfellebene in senkrechter oder in nahezu senkrechter Richtung auftreffen.

Die Membran des runden und vielleicht auch die Bandverbindung des ovalen Fensters ist an sich schon geeignet, die Erschütterungen der Luft auf das Labyrinthwasser zu übertragen. Daher kann das Gehör durch Luftleitung fortbestehen, freilich merklich geschwächt, wenn der Paukenhöhlenapparat beschädigt ist, z. B. das Trommelfell durchbohrt oder die Gelenkverbindung zwischen Amboss und Steigbügel zerrissen, oder wenn eine Ankylose zwischen der Steigbügelplatte und dem ovalen Fenster krankhaft oder bei manchen Thieren vielleicht normal (Gegenbaur) besteht. Weber-Liel hat bei dieser Luftleitung im mittleren Ohr die Schwingungen der Membran des runden Fensters direct beobachtet.

Der Bau des Labyrinths und die akustischen Endapparate.

Das Labyrinth ist der innerste Abschnitt des Gehörorgans, in ihm finden sich die Nervenendigungen des Akustikus. Das Labyrinth bildet eine Aushöhlung des Felsenbeins, seine Wände sind mit Ausnahme des ovalen und runden Fensters knöchern. Der Verschluss des ovalen Fensters wurde oben besprochen. Die Membran des runden Fensters, die Membrana tympani secundaria, wird von der Schleimhaut der Paukenhöhle und dem Periost der Schnecke gebildet und besteht sonach aus zwei Lagen, von denen die äussere, der Schleimhaut zugehörige, die stärkere ist.

In dem knöchernen Labyrinthe, mit seinem Vorhof, den halbzirkelförmigen Canälen und der Schnecke finden sich ziemlich allseitig von der Perilymphe, dem Labyrinthwasser, umspült die Gebilde des häutigen Labyrinths, welche ebenfalls mit einer wässerigen, eiweisshaltigen Flüssigkeit, der Endolymphe erfüllt sind. Sie schliessen sich zum grössten Theil in ihrer äusseren Form ziemlich innig den Formen des knöchernen Labyrinthes an. Das häutige Labyrinth, von dem man früher glaubte, dass es in der Perilymphe schwimme, ist (Rüdinger) mit dem Perioste, welches die inneren Wände des knöchernen Labyrinthes auskleidet, an einigen Stellen durch starke, Blutgefässe führende Bindegewebszüge: Ligamenta labyrinthi canaliculorum et sacculorum verbunden. Die häutigen Bogengänge sind an das Periost durch eine bindegewebige Brücke befestigt.

Auf dem Querschnitt lässt die Wand des häutigen Labyrinths vier Gewebsschichten unterscheiden. Zu äusserst ein Bindegewebsstratum, auf welchem eine hyaline Tunica propria aufliegt, von welcher sich (Rüdinger) als normale Gebilde papillenartige Vorsprünge erheben, die innerste Schicht bildet der Hauptmasse nach in den Gängen ein einschichtiges Pflasterepithel, in den Säckchen sind die Zellen durchgehends etwas cylindrisch. Soweit aber die Verbreitungsbezirke der Gehörnerven im häutigen Labyrinthe reichen, findet sich konstant ein meist gelblich pigmentirtes, eigenartiges Epithel: Nervenepithel.

Das häutige Labyrinth zerfällt in zwei Hauptabschnitte; der eiförmigen Grube des knöchernen Labyrinths und seinen halbkreisförmigen Canälen, die fast $^2/_3$ eines

Kreises umfassen, entspricht das eiförmige Säckchen, Utriculus vestibuli, mit den häutigen Bogengängen; letztere stehen mit dem eiförmigen Säckchen, der grössten Bildung des häutigen Labyrinths, in offener Verbindung, die Bogengänge besitzen der Ampullenöffnung der knöchernen Canäle entsprechende ampullenförmige Erweiterungen. Die häutigen Bogengänge zeigen nur etwa den dritten Theil des Durchmessers der knöchernen Gänge, deren ovales Lumen im langen Durchmesser 1,2—1,7, im kurzen 0,8—1 mm beträgt.

Das nahezu kugelige runde Säckchen, Sacculus rotundus, liegt in dem unteren und vorderen Theile des Vorhofs, dicht an dem Eingang der Vorhofstreppe. Es ist nach hinten und oben mit der Wand des ovalen Säckchens zu dem Septum verwachsen. Nach unten verlängert es sich zum Canalis reuniens (Hensen u. v. A.), einem engen Canal, der zur Vorhofstreppe hinzieht und sich hier rechtwinkelig mit dem häutigen Schneckengang, dem Ductus cochlearis, verbindet, und zwar unmittelbar nach innen von dem sogenannten blinden Anfang dieses Ganges, dem Vorhofsblindsack (cf. die Abbildung bei der vergleichenden Anatomie des Ohres). Durch den häutigen Aquaeductus vestibuli (Ductus endolymphaticus) sind die beiden Säckchen in Verbindung gesetzt, so dass demnach der ganze mit der Endolymphe gefüllte Hohlraum des häutigen Labyrinths in offener Verbindung steht, während Perilymphe und Endolymphe nirgends communiciren. Der häutige Aquaeductus theilt sich in der Nähe der Säckchen in zwei hohle Zweige, von denen der eine in das runde, der andere in das ovale Säckchen übergeht; nach hinten endigt er, nachdem er den knöchernen Aquaeductus vestibuli durchsetzt hat, in einer blasenartigen, flachgedrückten, blinden Erweiterung, welche, 1—2 cm breit, ausserhalb des Felsenbeins, diesem zum Theil direct anliegend, zum Theil mit der Dura mater innig vereinigt, gleichsam frei in der Schädelhöhle liegt (Böttcher, Hasse, Rüdinger u. A.). Der häutige Schneckengang, der um eine knöcherne Axe, den Modiolus, der Schnecke spiralig aufgewunden ist, endet nach oben blind in dem sogenannten Kuppelblindsack (Reichert). In den Canalis reuniens und in die beiden Blindsäcke des Schneckengangs treten keine Akustikusfasern ein, das Epithel ist kurzcylindrisch wie in den Säckchen. Die Perilymphe steht durch feine lymphatische Spalträume zwischen der knöchernen und häutigen Wand des Aquaeductus vestibuli mit den Lymphbahnen in der Schädelhöhle, zunächst mit dem epicerebralen Raum oder einem im Foramen jugulare gelegenen Lymphsack in Communication (Hasse u. A.).

Das häutige Labyrinth des Menschen und der Säugethiere besteht also im Wesentlichen aus den zwei verwachsenen, aber nur durch den häutigen Aquaeductus vestibuli mit einander offen communicirenden Säckchen; von dem eiförmigen Säckchen gehen die drei halbcirkelförmigen Canäle ab; mit dem runden Säckchen verbindet sich (durch den Canalis reuniens) der einfache und blind endigende, spiralförmig auf den Modiolus der knöchernen Schnecke aufgewundene, ebenfalls häutige Canalis cochlearis, der häutige Schneckengang.

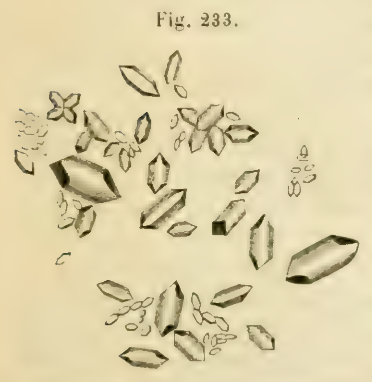
Der Gehörnerv theilt sich im inneren Gehörgange (Meatus auditorius internus) in den Nervus vestibuli und den Nervus cochleae.

Der Nervus vestibuli verbreitet sich an das elliptische Säckchen und die Ampullen, ohne in die halbzirkelförmigen Canäle selbst einzudringen. In den Ampullen treten die Nerven je an einen durch Einstülpung und Verdickung der

Tunica propria der Ampullenwand erzeugten Wandvorsprung; Crista acustica (Steifensand, M. Schultze), um in ihm und seiner nächsten Umgebung in das Epithel einzudringen. Auch in den Säckchen findet sich je ein ähnlicher, aber etwas niedrigerer Vorsprung der Wand: Macula acustica, an der die Nerven endigen. An der Nervenausbreitung in beiden Säckchen findet sich ein dem freien Auge sichtbarer weisser Fleck, der durch eine schleimig-häutige Masse an der Innenwand festgehalten wird; er besteht aus doppelt zugespitzten sechsseitigen Säulchen von kohlensaurem Kalk, die als Gehörsand oder Gehörsteinchen beschrieben werden (Fig. 233). Auch in der Endolymphe der Bogengänge und der Schneckengänge kommen nach Hyrtl solche Otolithen vor.

Die Akustikusfasern treten, wie es durch M. Schultze erwiesen scheint (Reich. M. Schultze, Kölliker, Rüdinger u. A.), in das Epithel ein und endigen in Zellen, die oben je mit einem feinen, borstenförmigen Fortsatz, dem Hörstäbchen, besetzt sind. Das Epithel an den nerventragenden Stellen besteht aus einem mehrschichtigen Cylinderepithel, zwischen welches sich die in die Hörstäbchen ausgehenden Zellen einschieben. Die Cylinderzellen, Stützzellen, lassen also Zwischenräume und feine Canäle zwischen sich, in welche die Haarzellen oder Stäbchenzellen eingelagert sind, welche als Endorgane des Akustikus gelten. Ihre Gestalt ist nach übereinstimmenden Beobachtungen spindelförmig, nach unten zeigen sie einen langen, sich als feinste Nervenfaser charakterisirenden Ausläufer, nach oben tragen sie einen stäbchenförmigen elastischen Fortsatz, das Hörstäbchen oder Hörhaar. Die an die Stäbchenzellen herantretenden feinsten Nervenfasern (Axencylinder) scheinen sich nach Rüdinger's Beobachtung (cf. dessen Figur 234) durch die Zelle fortzusetzen und sich mit dem Hörstäbchen direct zu verbinden. In den mittleren Theilen des Nervenepithels überwiegen die Stäbchenzellen an Zahl die Cylinderzellen.

Fig. 233.



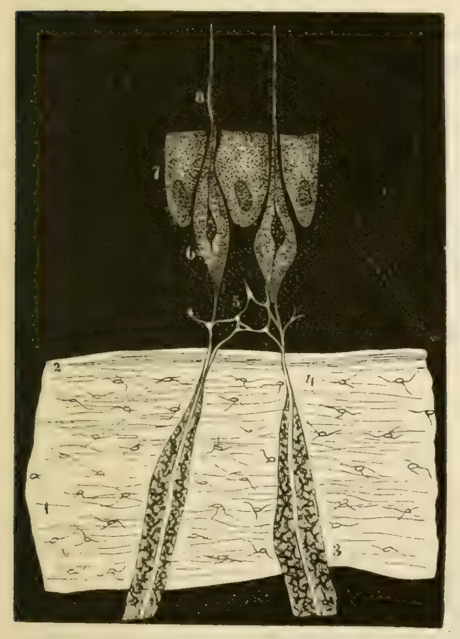
Otolithen, bestehend aus kohlensaurem Kalk (nach Funke).

Nach M. Schultze sind die in bestimmten Abständen von einander stehenden Hörstäbchen starre, beim Rochen im Durchschnitt etwa 0,04‴ lange Fasern, welche mit einer breiteren Basis an das Nervenepithel grenzen und sonst vollkommen von der Endolymphe umspült werden. U. Pritchard hat diese Angaben wesentlich erweitert. Er benennt die von allen Beobachtern übereinstimmend beschriebenen, Hörstäbchen tragenden Zellen als Dornzellen und unterscheidet sie von einer zweiten, bisher verkannten, Hörstäbchen tragenden Zellenform: den Borstenzellen (den fadenförmigen Zellen Max Schultze's und Ebner's, den isolirten Zellen Hasse's, den dreieckigen Zellen Rüdinger's), an denen bisher noch Niemand Hörstäbchen nachgewiesen hatte. Die Borstenzellen besitzen einen pyramidalen Körper mit ovalem Kern, die breiten Borsten dieser Pyramiden bilden in ihrer Gesammtheit die Oberfläche des Epithels. Von der breiten Oberfläche einer jeden dieser Zellen entspringt scharf abgesetzt und nicht wie bei den Dornzellen allmählig sich ausziehend, ein einzelnes Borsten-

stäbchen. Beide Zellenarten besitzen je einen central gerichteten Fortsatz, welcher in einer spindelartigen Anschwellung einen zweiten Kern enthält. Das Hörepithel ist von einer dicken Cuticularmembran bedeckt, welche die Hörzellen in ihrer Lage fixirt und nur von den Hörstäbchen beider Zellenarten durchsetzt wird, sie ist analog der Membrana reticularis des Corti'schen Organs und nach Pritchard ebenso zu benennen. Gegen das Centrum jeder Macula acustica stehen Borsten und Dornen paarweise neben einander, die Borstenzellen sind hier auf ihre unteren Abschnitte reducirt.

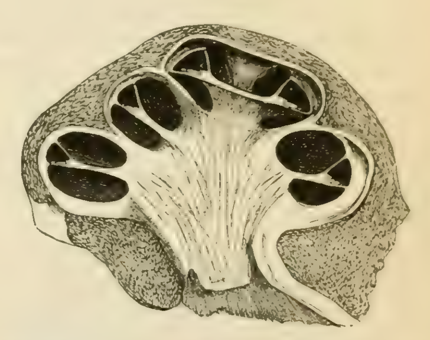
Die knöcherne Schnecke des Labyrinths erhält den Namen nach ihrer Aehnlichkeit mit einem Schneckengehäuse (Fig. 235). Der Innenraum wird

Fig. 234.



Schema der Nervenendigung. 1 Knorpel der Ampullenwand. 2 Structurloser Basalsaum. 3 Doppeltcontourirte Nervenfaser. 4 Axencylinder durch den Basalsaum tretend. 5 Netzförmige Verbindung der feinen Nervenfasern mit Kernen durchsetzt. 6 Spindelzellen mit Kern und dem dunklen Faden im Innern. 7 Stützzellen. 8 Hörhaar.

Fig. 235.



Senkrechter Durchschnitt durch die Schnecke eines älteren Kalbsembryo, deren Gehäuse mit Ausnahme einer kleinen knorpeligen Stelle schon verknöchert war, während die Spindel und Spirallamelle noch häutig waren. In allen Windungen ist der Canalis cochlearis sichtbar, dessen Höhe 0,250''', die Breite 0,266''' betrug, wobei zu bemerken, dass die scheinbar grössere Breite derselben in der Kuppel daher rührt, dass der Schnitt hier seitlich neben dem Spindelblatte vorbeiging. Im Canalis cochlearis sind die Habenula sulcata und die zwei Epithelialwülste auf der Membrana basilaris sichtbar. Vergröss. 6 mal. Breite der Schnecke an der Basis $3^2/_3$''', Höhe derselben $2^1/_5$'''.

durch das an die Spindel, Modiolus, befestigte Spiralblatt (Lamina spiralis ossea) in zwei Höhlungen, Treppen getheilt, von denen die der Basis nähere untere an dem runden Fenster beginnt (sie ist durch die Membran der runden Fenster, die Membrana tympani secundaria, von der Paukenhöhle getrennt) und darum den Namen Scala tympani erhält, während die zweite, die obere: Scala vestibuli, welche von der Basis der Schnecke weiter entfernt ist, mit dem Recessus hemisphaericus des Vorhofs in Verbindung steht. Die Lamina spiralis ossea reicht nicht von der Spindel bis zur gegenüberstehenden Wand, sie setzt sich an die letztere durch eine Hautlamelle (cf. S. 925),

die Lamina spiralis membranacea, an. In der Schneckenkuppel communiciren die beiden Treppen mit einander durch eine feine Oeffnung, das Helikotrema. Ausser diesen beiden Treppen enthält der mit dem Labyrinthwasser erfüllte Schneckencanal noch einen mittleren engen, mit Endolymphe gefüllten Raum, den häutigen Schneckencanal, den der Entdecker desselben, Reissner, als Canalis cochlearis beschreibt. Dieses Organ ist das wichtigste in der gesammten Schnecke. Der Schneckencanal wird nach innen und oben durch eine von der Lamina spiralis membranacea sich in die Scala vestibuli hinein erhebende Membran, die sich an der Wand ansetzt, die Reissner'sche Haut, abgegrenzt. Er stellt demnach einen dreieckigen Raum auf dem Durchschnitt dar, welcher als Basis die Lamina spiralis membranacea s. Membrana basilaris, als die innere Seite die Reissner'sche Haut, als äussere Seite die der Knochenwand der Schnecke anliegende Haut besitzt (Fig. 235). Nach der oben gegebenen Darstellung des häutigen Labyrinths ist der häutige Canalis cochlearis um den Modiolus der Schnecke, an die Lamina spiralis ossea angelegt, spiralig gewunden, woraus die eben besprochenen Verhältnisse sich erklären.

Die fibröse Grundlage der Lamina spiralis membranacea s. Membrana basilaris im mittleren Schneckengange zeigt sich in ihrer ganzen Ausdehnung radial gefasert. Sie trägt in einem eigenthümlich umgewandelten Epithel die Endorgane der Schneckennerven, nach ihrem Entdecker werden diese Endorgane Corti'sches Organ genannt. Parallel mit der Lamina spiralis membranacea dicht über ihr ist, von der Reissner'schen Haut entspringend, eine feine, zum Corti'schen Organ zu rechnende Membran ausgespannt, die Deckhaut, Membrana tectoria. Sie trennt unvollkommen (?) den häutigen Schneckencanal in zwei sehr ungleiche Abtheilungen, zwischen ihr und der Reissner'schen Haut ist ein verhältnissmässig weiter Raum, zwischen ihr und der Lamina spiralis membranacea bleibt nur ein feiner Spalt, in welchem sich die übrigen Gebilde des Corti'schen Organs befinden.

Das Epithel des häutigen Schneckencanals zeigt auch, abgesehen von dem Corti'schen Organe, einige Verschiedenheiten. Auf der Reissner'schen Haut besteht es aus einer Lage ziemlich grosser flacher Pflasterzellen, die übrigen Partien des Canals zeigen kleinere und dickere Elemente gegen das Corti'sche Organ hin, die endlich in ansehnlich verlängerte, cylindrische Formen übergehen.

Nach der Darstellung Waldeyer's, der wir uns hier vorzüglich anschliessen, stellt den Mittelpunkt des Epithels der Membrana basilaris das Corti'sche Organ dar. Als die centrale Stütze des Corti'schen Organs selbst, um welches sich dasselbe in seitlicher Symmetrie gruppirt, dienen die Corti'schen Bogen oder Stäbchen. Die letzteren überwölben die Basilarmembran und bestehen aus den inneren und äusseren Pfeilern. An die massiveren inneren Pfeiler, die Stege, schliesst sich die Reihe der inneren Haarzellen und die Körnerschicht an, von hier an dacht sich, indem die anstossenden Epithelzellen an Höhe abnehmen, das Organ nach innen zu ab. Auf der äusseren Seite des Organs findet sich ebenfalls eine der Gestalt der Bogen entsprechende Abdachung. An die äusseren dünneren und schlankeren Pfeiler, die Saiten, schliessen sich zunächst die Reihen der äusseren Haarzellen und an diese die cylindrischen Stützzellen Hensen's an, Epithelzellen, welche mit wachsen-

der Entfernung von den Bogen an Höhe mehr und mehr abnehmen (Fig. 236 und 237). Die Stäbchenzellen, die »Haarzellen« der Autoren, sind die eigentlich akustischen Apparate. Ihre »Haare« sind kurze, starre, mitunter oben abgerundete Stäbchen von glasartiger Durchsichtigkeit: Hörstäbe, sie stehen in einer halbkreisförmigen Reihe auf der Zellenoberfläche (Landowsky).

Zu den angegebenen Elementen des Organs kommen noch zwei membranöse cuticuläre Bildungen, die Membrana tectoria und die Lamina reticularis.

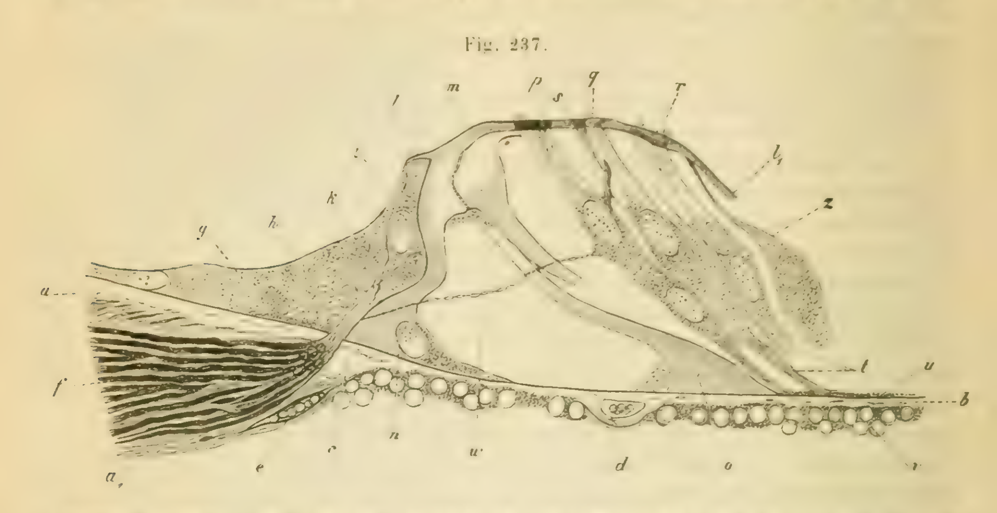
Die Corti'schen Pfeiler erscheinen, von der Seite gesehen, gestreckt S-förmig gekrümmt. Sie erheben sich mit einer unteren Anschwellung, dem Fuss von der Membrana basilaris, verschmälern sich dann zu dem stäbchenförmigen Körper des Pfeilers, welcher nach oben wieder zu dem Kopfe, den Gelenkenden Corti's, anschwillt, an dem sich noch plattenförmige Anhangsstücke, die Kopfplatten, zeigen, welche wesentlich zur Lamina reticularis gehören: Die Kopfplatte jedes äusseren Pfeilers entspringt mit einem langen Stiele von der Mitte des äusseren oberen Randes und geht in eine ruderförmige Verbreiterung, die erste Phalange der Lamina reticularis, über. Jeder innere Pfeiler hat zwei Kopfplatten, die continuirlich in einander übergehen, die kleinere innere erscheint von der Seite ziemlich hakenförmig gekrümmt, die äussere ist die gekrümmte, directe, plattenförmige Fortsetzung des Körpers. Die äusseren und inneren Pfeiler berühren sich mit den Köpfen und haften nach v. Winiwarter hier fest zusammen. Sie bilden je zwei eine Art Bogen oder Steg; indem sie reihenweise dicht neben einander

Fig. 236.

Corti'sches Organ vom Hunde, vestibuläre Flächenansicht. $^{700}/_{1}$. Reissner'sche Membran, sowie Membrana tectoria entfernt. *A* Crista spiralis, zum Theil wegen der schwärzlich durchschimmernden Nervenfasern (Ueberosmiumsäure) dunkel gefärbt. *B* Epithel des Sulcus spiralis internus. *C* Pfeilerköpfe. *D* Lamina reticularis. *E* Aeusseres Epithel der Membrana basilaris. — *a* Zellen des Sulcus spiralis, welche unter den Gehörzähnen hindurchschimmern. *b* Aeussere Grenzlinie der Gehörzähne (letztere wegen der tieferen Fokaleinstellung kaum wahrnehmbar). *c* Cuticulares Maschenwerk zwischen den inneren Epithelzellen. *d* Stelle des Vas spirale. *e* Innere Haarzellen. *f* Köpfe der inneren Pfeiler. *fi* Kopfplatten der inneren Pfeiler. Die neben einander liegenden Kopfplatten bilden bei hoher Fokaleinstellung ein helles cuticulares Dach über den Köpfen der äusseren Pfeiler, das sich von den inneren bis zu den äusseren Haarzellen erstreckt. *g* Grenzsaumlinie der äusseren Pfeiler gegen die inneren. *h* Köpfe der äusseren Pfeiler durch die Kopfplatten der inneren Pfeiler durchschimmernd. Jeder Kopf zeigt als hellen Kreis den durchschimmernden optischen Querschnitt der äusseren Pfeilerkörper. *l* Phalangenförmige Kopfplatte der äusseren Pfeiler (erste Phalange). *k* Erste Ringe mit den Haarschöpfen der ersten äusseren Haarzellen. *m* u. *o* Zweite und dritte Ringe und Haarbüschel. *n* u. *p* Zweite und dritte Phalangen. *r* Stützzelle (Hensen). *q* Cuticulares Maschenwerk zwischen den Epithelzellen (Schlussrahmen Deiters').

stehen, entsteht ein aus den Bogen gebildetes Gewölbe, Tunnel. Der Kopf der inneren Pfeiler ist zu einer Art Gelenkgrube ausgehöhlt, in welche die Gelenkköpfe der äusseren Fasern eingepasst sind (Fig. 237). Dabei **deckt** die Kopfplatte des inneren Pfeilers den Kopf und die Kopfplatte der äusseren bis auf

Fig. 237.



Senkrechter Durchschnitt des CORTI'schen Organes vom Hunde. [illegible]/1. — a-b Homogene Schicht der Membrana basilaris. u Vestibulare Schicht derselben, den Streifen der Zona pectinata entsprechend. v Tympanale Schicht mit Kernen, granulirtem Zellenprotoplasma und querdurchschnittenen Bindegewebsfibrillen dazwischen. a Labium tympanicum der Crista spiralis. a_1 Fortsetzung des tympanalen Periostes der Lam. spiralis ossea. c Verdickter Anfangstheil der Membrana basilaris unmittelbar nach aussen von der Durchtrittsstelle der Nerven h. d Vas spirale. e Blutgefäss. f Nervenbündel. g Epithel des Sulcus spiralis int. (nicht gut erhalten). i Innere Haarzelle. k Deren basaler Fortsatz. Um den letzteren, oberhalb der Durchtrittsstelle der Nerven, einzelne Kerne und eine feinkörnige Masse, in welche die Nervenfasern einstrahlen (Kornerschicht). l Innerer Theil der Kopfplatte des inneren Pfeilers und Haare der inneren Haarzelle. m Verbundene Kopfstücke beider Pfeiler: der Körper des hierher gehörigen äusseren Pfeilers in der Mitte durchschnitten; dahinter treten Körper und Fuss o des folgenden Pfeilers hervor. n Fuss mit kernhaltigem Protoplasmareste des inneren Pfeilers. p, q, r Drei äussere Haarzellen (Härchen nur in Spuren erhalten); nur die erste ist vollständig; von den beiden anderen sieht man nur die Kopftheile. t Basaltheile zweier anderer Haarzellen. z HENSEN'sche Stutzzelle. l-l_1 Lamina reticularis. u Nervenfaden, der sich an die erste Haarzelle p begibt und sich unter dem Bogen durch bis zur Eintrittsstelle der Nerven verfolgen lässt.

deren längeres phalangenförmiges Ende. Die inneren Pfeiler sind zahlreicher als die äusseren, sie verhalten sich der Zahl nach zu einander etwa wie 3 zu 2, der Kopf jedes äusseren Pfeilers ruht daher immer mindestens an zwei inneren, eine seitliche Verschiebung der Köpfe an einander wird durch seitliche Auskehlungen an den inneren Köpfen unmöglich gemacht. Jeder Pfeiler zeigt am Fuss einen Kern mit umgebendem Protoplasma, und zwar eingeklemmt in dem spitzen Winkel, welchen im Innern des Tunnels der Pfeiler mit der Membrana basilaris macht. Auch an den Köpfen der Pfeiler finden sich nach WALDEYER Protoplasmareste, und zwar bei den beiden Pfeilern an der Aussenseite. Die beiden Protoplasmamassen sollen die Reste zweier Zellen sein, aus deren Verschmelzung sich die Pfeiler bildeten.

Die Masse des Pfeilers selbst scheint zu den Cuticularbildungen zu gehören. Der Canal mit dreiseitiger Lichtung, welchen die Pfeiler in ihrer Vereinigung überbrücken, umläuft die ganze Länge der Lamina spiralis bis fast an das Ende

des Hamulus, im Allgemeinen nehmen nach Hensen die Grösse der Pfeiler und die Höhe und Spannweite des Bogens nach dem Hamulus hin zu, dagegen nimmt nach Waldeyer die Grösse des Ductus cochlearis selbst, in der Richtung nach der Schneckenkuppel, stetig in mässigem Grade ab.

Auf der inneren Abdachung des Corti'schen Bogens steht die einfache Reihe der inneren Haar- oder Stäbchenzellen. Ihre Gestalt ist kurz kegelförmig mit starkem Kern, nach unten geht jede in einen langen Fortsatz über, der sich in die oben erwähnte, aus kleinen Zellen bestehende Schicht, die Körnerschicht (Fig. 237), einsenkt. Das obere Ende der Stäbchenzellen wird von den Anhangsplatten der nächststehenden Pfeilerköpfe umschlossen und trägt auf einem Cuticulardeckel einen dichten Büschel stäbchenförmiger Fortsätze. An die Stäbchenzellen schliessen sich Reihen cylindrischer Epithelzellen an, die über der Körnerschicht stehen. Auf der äusseren Abdachung der Corti'schen Bogen stehen nach Gottstein's Darstellung die äusseren Haar- oder Stäbchenzellen, Corti'sche Zellen, in drei oder vier Parallelreihen hinter einander, die Zellen jeder dieser Reihen alterniren mit grosser Regelmässigkeit mit den Zellen der unmittelbar nebenstehenden Reihe. Auf jeden äusseren Pfeiler trifft in jeder Reihe eine Stäbchenzelle. Die Hörstäbchen bilden einen dichten Büschel auf der oberen Endfläche der Zelle wie bei den inneren Stäbchenzellen. Jede Zelle besitzt zwei Kerne, der obere ist kleiner, der untere liegt nahe am unteren Zellenende. In der Nähe des unteren Kernes treten aus jeder Zelle zwei Fortsätze ab; der längere und stärkere ist der gestreckt verlaufende Basalfortsatz, der sich mit einer kleinen dreieckigen Anschwellung an die Basilarmembran befestigt; der zweite, der Phalangenfortsatz, ist schmäler und gekrümmt, er verschmilzt mit einer der zunächst nach aussen und zur Seite liegenden Phalangen der Lamina reticularis. Oefters sieht man noch kurze Fädchen: Nervenfortsätze, an den Zellen anhängen. Der Basalfortsatz läuft am Zellkörper gerade in die Höhe und theilt sich in zwei Arme, welche den oberen Kern wie eine Zange umklammern: Kernzange.

Die äusseren Haar- oder Stäbchenzellen erweisen sich bei näherer Untersuchung als aus zwei mit einander verbundenen Zellen bestehend. Jede Stäbchenzelle geht wahrscheinlich aus der Theilung einer Cylinderzelle hervor. Die Stäbchenzellen des Menschen sind sehr gross, die Stäbchen lang und gross, borstenähnlich. Während bei den meisten Säugethieren sich nur drei Reihen von Stäbchenzellen finden, hat der Mensch vier oder sogar vielleicht fünf Reihen.

Kölliker entdeckte auf der Oberfläche des Corti'schen Organs die Lamina reticularis, eine zierliche cuticulare Deckplatte, welche vorzüglich Rahmen und Stützen für die Stäbchenzellen abgibt. Die Netzlamelle setzt sich aus einer Anzahl ringförmiger und fingerphalangenähnlicher Rahmen: Ringe und Phalangen (Deiters), zusammen. Der Zahl nach entsprechen diese den Stäbchenzellen. Auf der inneren Seite der Corti'schen Bogen findet man daher nur eine vollkommen entwickelte Reihe von Ringen und Phalangen, aus den Ringen ragen die Hörstäbchen der inneren Stäbchenzellen hervor, nach aussen findet man, der Zahl der äusseren Stäbchenzellenreihen entsprechend, mehrere Reihen von Phalangen und Ringen. Nach aussen vom Corti'schen Organe gehen die Gebilde der Lamina reticularis in ein die Fläche des nächstgelegenen Epithels deckendes unregelmässigeres Maschenwerk über, welches zum Theil die Deiters-

schen Schlussrahmen darstellt. Wie die obige Abbildung (Fig. 236) lehrt, stehen Ringe und Phalangen regelmässig alternirend, jede Phalange ist von vier Ringen umgeben e. v. v. Die erste Reihe der äusseren Ringe liegt am äusseren Ende der Kopfplatten der inneren Pfeiler, welche nach dem Gesagten über die Kopfe der äusseren Pfeiler herüberlaufen, zwischen die Ringe schieben sich hier die phalangenförmigen Endstücke der äusseren Kopfplatten ein. Jeder Ring ist ausgefüllt mit dem Basalsaum einer zugehörigen Stäbchenzelle, deren Hörstäbchen über den Ring hervorragen, die phalangenförmigen Rahmen sind mit einer zarten Membran verschlossen.

Die äusseren Stäbchenzellen sind mittelst ihrer beiden Fortsätze und ihrer oberen Endplatte zwischen der Lamina reticularis und der Basilarmembran gleichsam ausgespannt. Diese Zellen und die Corti'schen Pfeiler finden sich nur in der Schnecke des Menschen und der Säugethiere.

Die schon oben erwähnte Deckmembran des Corti'schen Organes, die Membrana tectoria oder Corti'sche Membran, beginnt an der Ansatzlinie der Reissner'schen Haut auf der Crista spiralis, nimmt allmälig an Stärke bedeutend zu und endet mit einem freien (?), allmälig wieder zart werdenden Rande in der Gegend der äusseren Stäbchenzellen, indem sie überall der Oberfläche des Corti'schen Organes dicht aufliegt (Hensen, Gottstein, Waldeyer), ihre Consistenz ist weich, nahezu gallertig, der Hauptmasse nach erscheint sie in radialer Richtung feinfaserig.

Waldeyer findet in dem anscheinend so sehr complicirten Bau des Corti'schen Organes einen einfachen Bauplan. Mehrere Reihen von Cylinderzellen (Doppelzellen) sind in regelmässiger Anordnung auf einer breiten Zone des Spiralblattes hinter einander aufgestellt und zwischen zwei membranösen (cuticularen) Begrenzungen, der Lamina reticularis oben und der streifigen Schicht der Membrana basilaris unten, festgehalten. Je zwei dieser cylindrischen Doppelzellen, die Corti'schen Pfeiler, sind zum grössten Theil ebenfalls cuticular umgewandelt, zur Herstellung eines festen tragenden Bogens (Waldeyer) für das Ganze. Abweichend von diesem allgemeinen Plane sind die inneren Stäbchenzellen keine Doppelzellen und entsprechen auch ebenso wie die inneren Pfeiler an Zahl nicht den analogen äusseren Bildungen. Die inneren Pfeiler, welche sich sowohl nach aussen als nach innen an der Bildung der Lamina reticularis betheiligen, erscheinen als der Mittelpunkt des ganzen Organs.

Die Art der Verknüpfung der Akustikusfasern mit den Bestandtheilen des Corti'schen Organs wurde neuerdings wenigstens zum Theil aufgehellt.

Man war bisher vorzüglich geneigt, die Corti'schen Pfeiler als die Endorgane des Schneckennerven anzusprechen. Die neuen Untersuchungen, welche uns mit den Stäbchenzellen des Corti'schen Organes noch näher bekannt gemacht haben, weisen nun aber darauf hin, dass entweder die Stäbchenzellen allein oder mit und neben den Corti'schen Pfeilern die akustischen Endorgane darstellen. Dass die Hörstäbchen allein zur Perception sehr verschiedenartiger Tonempfindungen hinreichen, scheint mit Sicherheit aus der schon oben angeführten Beobachtung hervorzugehen, dass in dem Labyrinthe von Thieren, welche eine hohe musikalische Ausbildung des Gehörs erkennen lassen, in dem der Vögel, keine anderen Akustikusendapparate sich finden als Stäbchenzellen. Hasse hat als erste sichere Beobachtung einer Nervenendigung in der Schnecke

bei Vögeln und Fröschen den unmittelbaren Uebergang je einer ungetheilten marklos gewordenen Nervenfaser des Akustikus in den basilaren Fortsatz der Stäbchenzellen nachgewiesen. Den Zusammenhang der Stäbchenzellen, akustischen Zellen, mit Nervenfasern hat nun LANDOWSKY auf das Sicherste constatirt.

Der N. acusticus entspringt mit zwei Wurzeln aus der Medulla oblongata. Die eine kommt aus kleinen Ganglienkörperchen am Boden der Rautengrube: centraler Akustikuskern (STIEDA). Die zweite Wurzel entspringt mit sehr dicken Fasern aus einem grosszelligen Ganglienkern im Crus cerebelli ad medullam oblongatam: lateraler Akustikuskern (STIEDA), und besitzt bald nach ihrem Austritt aus der Medulla ein kleines Ganglion. Die Wurzeln vereinigen sich bald zu einem gemeinsamen Stamm, dessen Primitivfasern, denen die SCHWANN'sche Scheide zu fehlen scheint, sich nicht selten verästeln und theilen (CZERMAK). Im Porus auditorius zerfällt der Stamm in seine beiden Hauptäste: Ramus vestibularis und Ramus cochlearis. Der erstere zeigt hier ein kleines Ganglion und spaltet sich in die Rami ampullares, utricularis und in den Ramus sacculi. Der Ramus cochlearis ist der stärkere, er sendet zum Septum utriculi et sacculi ein kleines Bündel und tritt dann durch den Tractus spiralis foraminulentus zur ersten Windung der Lamina spiralis, sowie in die Spindel ein, von welcher aus er sich zu den übrigen Windungen des Spiralblattes begibt. Vor ihrem Eintritt in die Lamina spiralis durchsetzen sämmtliche Nervenzweige das Ganglion spirale, im Canalis ganglionaris am Anfange der Lamina spiralis gelegen. Hier scheint jede Nervenfaser durch eine bipolare Ganglienzelle durchzutreten, solche Zellen kommen auch im Hauptstamm und im Ramus vestibularis zahlreich vor (WALDEYER). Jenseits des Ganglion breiten sich die nach innen stark markhaltigen Fasern unter Anastomosen- und Plexusbildung flächenhaft unter der oberen und unteren Lamelle der Lamina spiralis ossea aus, spitzen sich an der Grenze der Membrana basilaris rasch zu und treten durch feine Canäle der letzteren, indem sie den grössten Theil ihrer Markscheide verlieren, in den Ductus cochlearis ein.

Auch nach diesem Durchtritt ist die Richtung der Fasern eine radiale, man unterscheidet stärkere innere und feine äussere radiäre Nervenendfäden. Beide durchsetzen zunächst die Körnerschicht. Die inneren Radiärfasern, welche als Fibrillenbündel (Axencylinder) erscheinen, treten direct durch die Körnerschicht hindurch und gehen auch bei den Säugethieren ohne weiteres in das spitze Ende der inneren Haar- oder Stäbchenzellen über (WALDEYER), wie es HASSE an den Stäbchenzellen der Vögel und Frösche beobachtet hat. Die äusseren Radiärfasern treten nach GOTTSTEIN zwischen je zwei inneren Pfeilern in den CORTI'schen Tunnel hinein und durchsetzen denselben ungefähr in der Mitte der Pfeilerhöhe, so dass sie von der Seite an ausgespannte Harfensaiten erinnern, ebenso treten sie zwischen den äusseren Pfeilern wieder aus und verschmelzen mit den äusseren Haar- oder Stäbchenzellen der innersten Reihe, vielleicht auch mit denen der weiteren Reihen. Die äusseren Radiärfasern erscheinen als feinste, leicht variköс anschwellende Nervenfibrillen wie die von M. SCHULTZE in der Retina beschriebenen. M. SCHULTZE entdeckte noch spiralig verlaufende Faserzüge, welche auch von DEITERS, KOLLIKER, HENSEN u. A. für nervöser Natur gehalten werden. Nach M. SCHULTZE verbinden

sich diese Fasern mit den Kernen Protoplasmaresten, Zellen an den Füssen der inneren Pfeiler und mit den Zellen, die an der Spitze der Bogen liegen. Vorher treten sie mit einer Schicht grosskerniger zarter Zellen im Sulcus spiralis internus in Beziehung, in analoger Weise wie die Fasern in den Körnerschichten (namentlich in den inneren, Waldeyer) der Retina, sie scheinen diese Zellen, welche darnach als bipolare Ganglienzellen aufzufassen sind, zu durchsetzen. Von anderer Seite, auch von Waldeyer, wird die nervöse Natur der Spiralfasern angezweifelt.

Gang der Schallwellen im Labyrinth und Erregung der akustischen Endorgane.

Wird durch eine z. B. durch Schallwellen erzeugte Steigerung des Luftdrucks im äusseren Gehörgange das Trommelfell nach einwärts getrieben, so werden dadurch auch die Gehörknöchelchen nach innen gedrängt und die Fussplatte des Steigbügels wird tiefer in das ovale Fenster eingedrückt. Das nicht zusammendrückbare, übrigens rings von knöchernen Wänden umgebene Labyrinthwasser kann nur nach einer Seite hin dem Steigbügeldrucke ausweichen, nämlich gegen das runde Fenster mit seiner elastischen Membran (E. Weber). Dahin steht dem Labyrinthwasser entweder der Weg durch das Helikotrema, die enge Oeffnung in der Spitze der Schnecke, offen, oder es muss, da die Zeit zu einer solchen Bewegung bei den Schallschwingungen wahrscheinlich nicht hinreicht, die membranöse Scheidewand der Schnecke gegen die Paukentreppe hindrängen. Bei Luftverdünnung im Gehörgange wird das Umgekehrte eintreten (Helmholtz).

Auf diese Weise werden die Schallschwingungen der im äusseren Gehörgange befindlichen Luft auf die Membranen des Labyrinths, namentlich auf die Schneckenmembran und die in den Membranen endigenden Nerven übertragen.

Die Nervenenden sind nach dem oben Gesagten mit sehr vielen, kleinen elastischen Anhängen verbunden, deren Bestimmung es scheint, **durch ihre Schwingungen die mit ihnen in Verbindung stehenden Nerven mechanisch durch Erschütterung in Erregung zu versetzen** (Helmholtz).

Als diese schwingenden elastischen Anhänge der Gehörnervenfasern werden in den Ampullen und Säckchen die Hörstäbchen, in der Schnecke die analogen Stäbchen der Haar- oder Stäbchenzellen des Corti'schen Organes, nach Helmholtz's älterer Ansicht auch die Corti'schen Pfeiler, namentlich die Saiten angesprochen.

Die ganze Anordnung des Corti'schen Organs spricht dafür, dass dasselbe ein Apparat sei, geeignet, die Schwingungen der Grundmembran, Membrana basilaris, aufzunehmen und selbst in Schwingungen zu gerathen. Wird durch den eindrängenden Steigbügel der Druck auf das Labyrinthwasser vermehrt, so muss die Grundmembran nach unten weichen, die äusseren Pfeiler werden dadurch stärker gespannt und, in Folge der Befestigungsweise der Pfeiler, die entsprechende Stelle der inneren Pfeiler entsprechend nach unten gebogen. Helmholtz scheint es wahrscheinlich, dass die inneren Pfeiler eine Art elastischen Steg darstellen, zwischen dessen Kante und der Mitte der Grundmembran die äusseren Pfeiler wie Saiten befestigt sind und wie solche schwingen.

wenn ihr anderes Ende an der Membran erschüttert wird. Eine Saite geräth in starke Schwingungen, wenn ihr eines Ende wie in unserem Falle mit einem schwingenden Körper, z. B. einer Stimmgabel oder einer Membran verbunden ist, am stärksten werden ihre Schwingungen, wenn sie unisono mit dem Ton gestimmt ist, der ihr zugeleitet wird. Ueber die Lage der Enden der Nervenfasern zu den Corti'schen Pfeilern steht wenigstens so viel fest, dass jene durch ihre Erschütterung der Pfeiler jedenfalls direct mit erschüttert werden müssen. Aus den Erscheinungen der Dämpfung der Schwingungen im Ohr geht direct hervor (Helmholtz), dass es verschiedene Theile des Ohres sein müssen, welche durch verschieden hohe Töne in Schwingungen versetzt werden und diese Töne empfinden. Aber allerdings ist bisher noch nicht mit aller Sicherheit erwiesen, welche Theile im inneren Ohr es sind, die bei den einzelnen Tönen mitschwingen. In neuerer Zeit war Helmholtz geneigt, den radialen Fasern der Membrana basilaris (cf. oben) eine hervorragende akustische Rolle beizulegen. Indem er annahm, dass ihre Spannung senkrecht auf die Faserrichtung verschwindend sei, im Verhältniss zu der Spannung in radialer Richtung, erschienen ihm die Fasern als ein System neben einander liegender gespannter Saiten. Da diese Fasern eine sehr regelmässige Verschiedenheit in ihrer Länge und vielleicht auch in ihrer Spannung erkennen lassen, so scheint es sicher, dass sie, respective die einzelnen radialen Zonen der Membran, zunächst in Mitschwingungen versetzt werden, und dadurch die unmittelbar darüber liegenden Theile, die eigentlichen Endorgane des Akustikus, mechanisch erregen.

Man hat auch den Hörsteinchen die Function des Mitschwingens zugeschrieben, doch scheinen sie, in einer schleimigen Flüssigkeit suspendirt, dazu wenig befähigt. Die Hörstäbchen scheinen vorzüglich dazu gut geeignet, einzelnen Stössen nachzugeben und diese auf die Nerven zu übertragen, da Körperchen von so geringer Masse in ihrer Bewegung nicht lange beharren können. Zur Ausführung selbständiger musikalischer Schwingungen von der Dauer, wie sie im Gehörorgane vorkommen, scheinen nach Helmholtz' älterer Annahme die Corti'schen Fasern am ebesten geeignet. Elastische Gebilde, deren Schwingungen sehr rasch gedämpft werden, werden durch kurz vorübergehende Stösse und Strömungen des Labyrinthwassers verhältnissmässig stärker afficirt werden als durch musikalische Töne, sie werden also namentlich der Wahrnehmung solcher schneller unregelmässiger Erschütterungen, wie sie die Empfindung der Geräusche bedingt, dienen können. Dagegen werden Körper, welche länger nachzuschwingen vermögen, durch einen musikalischen Ton von entsprechender Höhe stärker erregt als von einzelnen Stössen, da hier eine Summirung der an sich kleinen Anstösse eintreten kann. Helmholtz vermuthete daher, dass die Nervenausbreitung im Vorhof und in den Ampullen mit den Hörstäbchen für die Wahrnehmung der Geräusche, die Corti'schen Pfeiler für die Wahrnehmung der musikalischen Töne dienen. Er nahm weiter an, dass die Stimmung der Pfeiler wie die von Saiten verschieden sei und einer regelmässigen Stufenfolge durch die musikalische Scala hindurch entspreche. Kölliker zählt etwa 3000 Corti'sche Pfeiler in der Menschenschnecke. Rechnen wir 200 auf die ausserhalb der in der Musik gebrauchten Grenzen liegenden Töne, deren Tonhöhe nur unvollkommen aufgefasst wird, so bleiben 2800 für die sieben Octaven der musikalischen Instrumente, d. h. 400 für jede Octave.

33⅓ für jeden halben Ton, jedenfalls genug, um die Unterscheidung kleinerer Theile eines halben Tons, so weit eine solche möglich ist, zu erklären. Geübte Musiker können nach E. H. Weber's Beobachtungen noch einen Unterschied der Tonhöhe wahrnehmen, welcher dem Schwingungsverhältniss 1000 zu 1001 entspricht, etwa 1/64 eines halben Tones, also einer etwa doppelt so kleinen Grösse als der Anzahl der Corti'schen Pfeiler entsprechen würde. Diese Möglichkeit erklärt sich daraus (Helmholtz), dass, wenn ein Ton angegeben wird, dessen Höhe zwischen der von zwei benachbarten Pfeilern liegt, so wird er beide in Mitschwingungen versetzen, diejenige aber stärker, deren eigenem Ton er näher liegt, was eine specifische Empfindung hervorrufen kann. Nehmen wir den neueren Anschauungen nach die ausserordentlich viel zahlreicheren Hörstäbchen als die im Ohre akustisch mitschwingenden Organe an, so bedarf es dieser doch etwas gekünstelten Erklärung nicht.

Wenn im Allgemeinen ein einfacher Ton dem Ohr zugeleitet wird, so werden diejenigen mitschwingenden Theile, die ihm ganz oder nahezu gleichstimmig sind, stark erregt, alle anderen schwach oder gar nicht. Jeder einfache Ton wird also nur durch gewisse Nervenfasern empfunden. Töne von verschiedener Höhe erregen verschiedene Nervenfasern.

Wird ein zusammengesetzer Klang dem Ohre zugeleitet, so wird derselbe in vollkommen gleicher Weise, wie wir seine complicirte Schwingung durch Resonatoren in die einzelnen sie componirenden pendelartigen Schwingungen verschiedener Tonhöhe, den harmonischen Obertönen entsprechend, zerlegen können, auch von den mitschwingenden Theilen in unserem Ohre in seine einzelnen einfachen Theiltöne getrennt. Dasselbe erfolgt bei einem Accord. Es werden durch den Klang oder durch den Accord alle diejenigen elastischen Gebilde des inneren Ohres erregt, deren Tonhöhe, für welche sie abgestimmt sind, den verschiedenen in der Klangmasse enthaltenen einzelnen Tönen entspricht. Die ursprünglich einfache periodische Bewegung der Luft, der Klang, wird dadurch in eine Summe verschiedener pendelartiger Bewegungen der akustischen Endapparate zerlegt, wodurch die an sich einfache Luftschwingung des Klangs als eine Summe verschiedener Empfindungen erscheint, aus welcher man bei gehörig gerichteter Aufmerksamkeit alle die einzelnen Empfindungen der einzelnen einfachen Töne einzeln wahrzunehmen vermag. Durch die Hypothese von Helmholtz werden also die Phänomene des Hörens auf solche des Mitschwingens zurückgeführt. Die Hypothese steht mit der Theorie der specifischen Energien in vollkommenstem Einklang. Die Empfindung verschiedener Tonhöhen ist hiernach also eine Empfindung in verschiedenen Nervenfasern. Die Empfindung der Klangfarbe beruht darauf, dass ein Klang ausser den seinem Grundton entsprechenden akustischen Endapparaten noch eine Anzahl anderer in Bewegung setzt, also in mehreren verschiedenen Gruppen von Nervenfasern Empfindung erregt. Die Empfindung der Geräusche wird durch plötzliche, meist plötzlich gedämpfte Bewegungen vielleicht specifischer akustischer Endapparate hervorgerufen. Die Stärke der Schallempfindung ist in gewissen Grenzen der Bewegungsstärke der im inneren Ohr mitschwingenden Apparate direct proportional.

Der Hauptgrund, warum man in der neueren Zeit geneigt ist, an der Helmholtz'schen Theorie über die musikalische Function der Corti'schen Stäbchen

zu zweifeln, ist, wie wir schon oben andeuteten, ein vergleichend-anatomischer: den Vögeln fehlt, obwohl sie entschieden musikalisch sind und sogar Melodien pfeifen lernen, ein eigentliches Corti'sches Organ (cfr. unten: zur vergleichenden Anatomie).

Akustische Eigenschaften der Hörstäbchen. — Je nach ihrer grösseren oder geringeren Masse müssen die Hörstäbchen eine geringere oder stärkere Dämpfung zeigen. Die Beobachtungen Hensen's an den Gehörorganen der Crustaceen haben direct nachgewiesen, dass auch die starren Hörhaare, welche hier die wahren Hörstäbchen ersetzen, fähig sind, durch Töne in Mitschwingungen versetzt zu werden. Es scheinen diese Beobachtungen zugleich ein directer Beweis der Helmholtz'schen Theorie, dass der Vorgang des Hörens auf dem Phänomen der Mitschwingung specifischer akustischer Endapparate beruhe.

Die Crustaceen haben theils geschlossene, theils nach aussen offene Otolithensäckchen, in denen Hörsteinchen in einer wässerigen Feuchtigkeit getragen von steifen Härchen schweben, welche mit ihren Enden den Steinchen anhaften und zum Theil eine nach der Grösse geordnete Reihenfolge, von grösseren und dickeren zu kürzeren und feineren übergehend, erkennen lassen. Auch an der Körperoberfläche, an den Antennen und am Schwanze bei Mysis finden sich nach Hensen solche Hörhaare, welche von demselben Nervenstamme wie die Gehörbläschen ihre Nerven erhalten und nach Exstirpation der letzteren die Fähigkeit des Hörens fort erhalten. Durch einen dem Trommelfell und den Gehörknöchelchen nachgebildeten Apparat leitete Hensen den Schall eines Klapphorns in das Wasser, in welchem er unter dem Mikroskop eine Mysis beobachtete. Es ergab sich, dass durch gewisse Töne des Horns einzelne ihrer äusseren Hörhaare in starke Vibration versetzt wurden, durch andere Töne andere Hörhaare. Jedes Hörhaar antwortete auf mehrere Noten des Horns.

Durch die Entdeckung des Leydig'schen sechsten Sinnes (cf. unten) wird der Zweifel berechtigt, ob die Hensen'schen Hörhaare an der Körperoberfläche der Mysis nicht vielmehr diesem sechsten, dem Hörsinn nächst verwandten Sinne, dienen.

Dämpfung der Schwingungen im inneren Ohr. — Die Dämpfung ist in dem inneren Ohr eine sehr vollkommene; es können (Helmholtz), wenigstens in dem grössten Theile der Scala, noch Triller von je 10 Schlägen in der Secunde scharf und klar aufgefasst werden; von *A* abwärts in der grossen und Contraoctave klingen sie aber schlecht, rauh, ihre Töne fangen an sich zu vermischen. Diese Erscheinung lehrt, dass die Dämpfung der schwingenden Theile für tiefe Töne im Ohr nicht genügend stark und schnell ist, um einen so raschen Wechsel von Tönen ungestört zu Stande kommen zu lassen, dass wir also hier an der Grenze der Wirksamkeit der Dämpfungsmechanismen stehen. Im Ganzen können wir mit Helmholtz annehmen, dass die mitschwingenden Theile etwa den Grad der Dämpfung zeigen, dass die Intensität des ausklingenden Tons nach $^1/_5$ Secunde mindestens auf $^1/_{10}$ vermindert ist.

Die Dämpfungseinrichtungen bestehen theils in der geringen Masse der mitschwingenden Theile selbst, zum Theil scheinen auch noch specifische Dämpfer zu existiren. Waldeyer spricht dieMembrana tectoria und die Otolithen als solche an. Die in eine schleimige Masse eingelagerten Otolithen vergleicht er mit einem »Sandsack«, der nicht dazu angethan sein könne, in regelmässige Schwingungen zu gerathen, sondern viel eher im Stande sei, die Schwingungen anderer Körper, mit denen er in Berührung komme, zu dämpfen. Die von ihm behauptete schleimige Konsistenz der Membrana tectoria, ihre vollkommen freie Lage, wie ein Gallertschleier gerade auf dem Haarzellen tragenden Theil des Corti'schen Organs, scheinen Waldeyer, der, wie Andere, nur die Haar- oder Stäbchenzellen als akustische Endapparate gelten lassen will, auch für ihre Wirkung als Dämpfer zu sprechen. Helmholtz fasst dagegen die Otolithen als mitschwingende Theile auf, dasselbe thut Hasse in Beziehung auf die Membrana tectoria, ihre Schwingungen würden nach ihm zunächst auf die Stäbchen der akustischen Zellen übertragen, diese Membran sei also im Verein mit den Otolithen die wesentlichste, empfindungerregende Einrichtung im inneren Ohre.

Hörkraft in verschiedenen Lebensaltern. — Nach C. J. Blake nimmt die Hörkraft mit dem zunehmenden Alter ab. Kinder von 12—13 Jahren hörten einen Ton von 20480 Schwingungen auf 34 Fuss Entfernung; von 18—20 nur auf 13—16 Fuss, auf 34 Fuss nur Töne bis zu 18432 Schwingungen; von 28—30 Jahren wurden in 34 Fuss Entfernung nur Töne bis zu 16384 Schwingungen gehört. Bei Leuten über 50 Jahren war die Hörweite noch geringer und schwankte ungemein. In neuerer Zeit hat man das Telephon zur Bestimmung der Hörkraft und Hörschärfe verwendet.

Die halbzirkelförmigen Canäle. — Auch die halbzirkelförmigen Canäle sind als Dämpfungsapparate der Wellenbewegungen des Labyrinthwassers angesprochen worden. Nach Malini ist ihre Zusammenordnung der Art, dass die gleichzeitig und gleichartig in beide Oeffnungen eines jeden Canals eintretenden Schallwellen sich in der Mitte begegnen müssen, durch diese Begegnung gleichartiger Wellen wird ihre Bewegung vernichtet.

Während das Gehör nach Zerstörung der Schnecke vollkommen vernichtet ist, bleibt dasselbe bestehen nach Zerstörung der häutigen Bogengänge, dagegen treten dann nach den Beobachtungen von Flourens, Brown-Séquard, Goltz, E. Cyon, J. Breuer u. A. Störungen des Gleichgewichts des Körpers ein. Hat man an einer Taube den horizontalen Bogengang einer- oder besser beiderseits durchschnitten, so macht sie dauernd, oft Monate lang, abwechselnde Bewegungen des Kopfes und Körpers von rechts nach links und umgekehrt, nach der Durchschneidung des senkrechten Bogengangs macht sie pendelartige Bewegungen mit dem Kopfe in vertikaler Richtung. Gleichzeitig ist das Flugvermögen verschwunden, sind grössere Partien der Bogengänge zerstört, auch das Vermögen zu stehen. An Fröschen sah Goltz nach der Durchschneidung beider Hörnerven die Fähigkeit, das Gleichgewicht zu erhalten, verloren, die Bewegungen unbeholfen, Brown-Séquard sah Reitbahnbewegungen (Zwangsbewegungen) eintreten. Nach der Hypothese von Goltz dient der Akustikus nicht blos dem Gehörsinn, sondern vermittelt auch das Gleichgewicht, die Bogengänge seien eine Art Sinnesorgan für das Gleichgewicht des Kopfes und Körpers. Dass bei gewissen Erkrankungen des Gehörorgans Schwindel: »Gehörschwindel«, im Gegensatz zum Gesichtsschwindel«, sich einstellt, ist bekannt. Böttcher konnte jedoch alle diese für die Durchschneidung der Bogengänge u. a. angegebenen Erfolge auf gleichzeitig durch die Operation, namentlich durch Zerren eingetretene tiefere Gehirnverletzungen zurückführen: die Störungen des Gleichgewichtssinnes können verschwinden, trotz der bestehen bleibenden Trennung oder Zerstörung der Bogengänge.

Analog dem blinden Fleck des Auges wollte man taube Punkte im Ohr aufgefunden haben. E. Berthold bewies, dass es sich bei den betreffenden Wahrnehmungen nur um eine Interferenz der Schallwellen, d. h. um eine Eigenschaft der Stimmgabel, nicht des Ohres handelt.

Räumliche Schallwahrnehmungen.

In Beziehung auf die räumliche Wahrnehmung über den Ort, die Richtung und Entfernung des das Sinnesorgan erregenden Körpers, steht das Ohr dem Auge weit nach. Im Allgemeinen sind wir gewöhnt, die Schalleindrücke, welche durch Vermittelung von Luft bei offenem Gehörgang auf das Trommelfell treffen, nach aussen zu verlegen, während wir geneigt sind, Eindrücke, welche nur durch die Knochenleitung dem Gehörnerven zugeleitet werden, als im Organismus selbst entstanden aufzufassen.

Die Richtung des Schalles. Wir hören einen Schall dann am deutlichsten, wenn seine Schallwellen in der geradlinigen Verlängerung des äusseren Gehörganges rechtwinkelig auf das äussere Ohr auftreffen, in diese Linie verlegen wir die Richtung des schallgebenden Körpers nach aussen. Um die Rich-

tung des Schalls zu bestimmen, benutzen wir normal die gleichzeitigen Schalleindrücke auf beide Ohren. Die Intensität des Schalleindruckes in beiden Ohren ist gleich, wenn der Schall von einem Punkte der nach rückwärts oder vorwärts verlängerten Medianebene des Körpers herkommt, weil in diesem Falle die Schallwellenzüge in beide Ohren gleichmässig eindringen. Nach dem Bau unserer Ohrmuschel, welche von vorne kommende Schallwellen in grösserer Breite auffangen und in den äusseren Gehörgang reflektiren kann, wird ein in dieser Richtung auftreffender Schall stärker empfunden als ein von hinten kommender. Es wird dadurch unter gewissen Umständen ein Urtheil über die Richtung, ob von vorne oder von hinten der Schall herkommt, möglich. Kommt der Schall von Punkten, welche seitlich von der verlängerten Medianebene des Körpers liegen, so wird ein Gehörorgan stärker als das andere getroffen werden. Bei gleichmässiger Erregung beider Ohren pflegen wir die äussere Schallwelle in die verlängerte Medianebene des Körpers zu verlegen; wird ein Ohr stärker als das andere erregt, so verlegen wir den Ort der Schallquelle auf Seite des stärker erregten Ohres. Zur feineren Bestimmung der Richtung bedienen wir uns dann zunächst nur eines Ohres, wir suchen durch Drehungen des Körpers und Kopfes die Stellung des Ohres auf, bei welcher wir den Schall am intensivsten hören, und verlegen dann in die oben angegebene Linie die Schallrichtung. Wir glauben dann den Schall beim Lauschen nur mit dem der Schallquelle entgegen gewendeten Ohre zu hören. Das zweite Ohr ist dabei aber keineswegs wirklich ausgeschlossen, es tritt eine Schwächung der Wahrnehmung ein, wenn das abgewendete Ohr verstopft wird.

E. Weber fand, dass man unter Wasser getaucht, so lange der Gehörgang mit Luft gefüllt ist, den Schall als etwas Aeusseres hört und unterscheiden kann, ob er von rechts oder links kommt; hat man den Gehörgang mit Wasser gefüllt, so scheint der Schall, wie bei reiner Knochenleitung, als im Kopfe selbst entstanden. Es scheint mehr als ungewiss, ob bei der Bestimmung der Schallrichtung mittelst eines Ohres die Vorsprünge der Ohrmuschel irgend einen Dienst leisten.

Die Entfernung des Schalls beurtheilen wir aus der Intensität der Schallempfindung. Die Schallintensität wird schwächer mit der Entfernung der Schallquelle und zwar bekanntlich im Quadrate der Entfernung, so dass bei 2-, 3-, 4facher Entfernung die Schallintensität 4, 9, 16mal schwächer wird. Aus Erfahrung kennen wir annähernd die Intensität der verschiedenen Schalle und deren Abnahme mit der Entfernung und bilden uns daraus ein Urtheil über die Entfernung der Schallquelle. Da die Intensität jedes Schalls aus sehr verschiedenen Ursachen, abgesehen von der Entfernung, schwanken kann, so sind wir bei diesen Beurtheilungsversuchen der Entfernung der Schallquelle den gröbsten Täuschungen ausgesetzt, worauf die bekannten akustischen Täuschungen im Theater und bei sogenannten Bauchrednern stammen. Ein schwaches, in nächster Nähe erregtes Geräusch kann uns, wenn wir fälschlich seine Quelle in die Entfernung verlegen, laut erscheinen.

Die einer bestimmten Entfernung entsprechende Schallintensität beurtheilen wir in jeden Einzelfall, wie oben gesagt, nach unseren Erfahrungen über die relative Intensität des bestimmten Schalles. Das leise Summen der Biene oder einer Mücke verlegen wir daher nicht, der geringen absoluten Intensität entsprechend, in weite Ferne. Verwechseln wir aber die

Ursache der Geräusche, so kann uns ein schwaches, von schwacher Intensität, als aus weiter Entfernung kommend erscheinen. Bekannt sind die Täuschungen über das Arterienklopfen im oder in der Nähe des Ohrs, das man mit fernem Dreschen verwechselt, eine Verwechselung, die auch umgekehrt eintritt.

Das Hören mit beiden Ohren scheint nicht die Eigenthümlichkeiten des Sehens mit beiden Augen zu theilen, welche wir aus den identischen Punkten der beiden Netzhäute haben hervorgehen sehen. Identische akustische Endapparate im Sinne jener Identität der Netzhautelemente, so dass durch eine gleichzeitige Erregung der identischen Endapparate in beiden Gehörorganen nur ein einfacher Sinneseindruck hervorgerufen wird, scheinen nicht zu existiren, wenigstens ist ihre Existenz noch unbewiesen. Einen einzigen Ton, der die gleichstimmigen Akustikusenden in beiden Ohren erregt, hören wir zwar mit beiden Ohren nur einfach, wir sind aber im Stande, zwei qualitativ gleiche Gehörseindrücke von verschiedener Intensität auf je ein Ohr einwirkend gesondert zu empfinden. Auch das Hören desselben Tones mit beiden Ohren charakterisirt sich nach den Beobachtungen Fessel's und Fechner's nicht immer als eine einfache Empfindung, da bei einer Anzahl von Personen schon normal, besonders ausgesprochen aber bei krankhaften Zuständen (v. Wittich), das eine Ohr denselben Ton höher empfindet als das andere.

Das Hören mit beiden Ohren ermöglicht, wie wir oben sahen, eine gegenseitige Unterstützung der Gehörorgane vor Allem zur Bestimmung der Richtung der Schallquelle. Einseitige Fehler werden dadurch ausgeglichen. Auch aus E. H. Weber's Beobachtungen ergibt sich, dass die Fähigkeit der Verschmelzung der Empfindung beider Ohren ihre Grenzen habe. Hört man auf zwei Uhren von etwas verschieden schnellem Gange nur mit e i n e m Ohre, so unterscheidet man die Perioden, in welchem das Ticken beider Uhren zusammentrifft, als einen sich regelmässig wiederholenden Rhythmus. Hält man die beiden Uhren vor je ein Ohr, so fehlt die Empfindung des Rhythmus, und man unterscheidet nur die verschiedene Geschwindigkeit des Ganges.

Um beide Ohren gleichzeitig durch denselben Ton, aber in verschiedener Intensität zu erregen, hält man nach Dove vor die Ohren zwei genau gleichgestimmte tönende Stimmgabeln. Dreht man die eine Stimmgabel um ihre Axe, so dass ihr Ton abwechselnd verschwindet und wieder ansteigt, viermal während einer Umdrehung, so scheinen beide Stimmgabeln abwechselnd zu tönen, wir hören die feststehende nur dann, wenn die gedrehte nicht gehört wird. Die Erklärung liegt darin, dass die Erregbarkeit des Gehörorganes während des Tönens abnimmt (E r m ü d u n g), bei dem beständig gereizten Ohre natürlich mehr als bei dem, dessen Stimmgabel gedreht wird; ein Ton wird bei gleich starker Erregung nur mit dem stärker erregbaren Ohre wahrgenommen. Man empfindet also gegen die Analogie mit dem Sehorgane entweder die Erregung zweier gleichstimmiger Akustikusenden in beiden Ohren gesondert oder verlegt wenigstens die Empfindung der Erregung auf die stärker erregte Seite.

Halten wir uns eine tönende Stimmgabel an den Kopf, so verlegen wir den Ton derselben nach aussen, da neben der Knochenleitung der Ton auch durch die Luft unserem Trommelfelle zugeführt wird. Der Ton erscheint stärker und ausschliesslich im Kopfe selbst entstanden, wenn wir beide Ohren verstopfen. Verschliesst man nur ein Ohr, so hört man auf diesem den Ton verstärkt oder sogar ausschliesslich. Politzer hält diese Tonverstärkung für objectiv, da nach dem Verstopfen die Schallwellen nicht mehr durch den äusseren Gehörgang abfliessen können und die in letzterem eingeschlossene Luft durch Resonanz den Ton verstärkt. Auch die eigene Stimme hören wir bei verstopften Ohren im Kopf selbst.

Entotische und subjective Schallwahrnehmungen.

Entotische Wahrnehmungen. — Es kommen objective Schallwahrnehmungen vor, deren Ursache jedoch im Ohre selbst gelegen ist. Schon oben wurde das k n a c k e n d e G e r ä u s c h im Ohre bei Spannung des Trommelfells und bei kräftiger Anspannung der Kaumus-

keln A. Fick erwähnt. Es wird von Einigen als Muskelgeräusch, von der Contraction des Tensor tympani veranlasst, betrachtet. Andere leiten es von der plötzlichen Anspannung des Trommelfells her. Nach Politzer und Lowenberg ist das Knacken nicht mit einer, durch das Ohrmanometer nachweisbaren Einziehung des Trommelfells verbunden, sie leiten es von einer plötzlichen Oeffnung der Tuba Eustachii ab. Helmholtz führt ein gewisses, von ihm beobachtetes Klirren im Ohre auf das Anschlagen der Sperrzähne des Hammerambossgelenkes zurück. Die Arterien des Ohres und auch fernere Arterien (Carotisblutstrom) bringen Erschütterungen des Felsenbeins hervor, welche als rhythmisches Klopfen empfunden werden, besonders deutlich, wenn man mit dem Ohr auf einem harten Körper liegt. Ist der äussere Gehörgang künstlich oder durch einen Ohrenschmalzpfropf, oder die Paukenhöhle durch Verschluss der Tuba Eustachii verstopft, so bringen diese Erschütterungen durch die Resonanz der abgeschlossenen Luftmengen brausende Geräusche: Ohrensausen hervor, diese werden stärker, wenn in einem, dem Gehörgang aufgesetzten hohlen Körper, z. B. Röhre, Muschel etc., die abgeschlossene Luft mitschwingt. Setzt man Röhren von bestimmter Länge an das Ohr, so nimmt man den ihrer Resonanz entsprechenden Ton verstärkt aus dem brausenden Schallgeräusche wahr (cf. Resonatoren).

Subjective Gehörsempfindungen. — Die Gehörnerven können ausser durch objectiven Schall auch noch durch einige andere Momente erregt werden, doch sind diese subjectiven Erscheinungen bei dem Ohre noch weniger festgestellt. Dass es nach dem Aufhören des objectiven Schalles noch Nachtöne gibt, haben wir schon oben bei der Frage nach der Schalldämpfung im inneren Ohre besprochen; auch mit dem Savart'schen Rade lässt sich zeigen, dass bei einer sehr raschen Aufeinanderfolge von Tönen eine Mischung derselben zu einem Geräusche eintritt. Während des Nachtönens ist, wie es scheint, die Empfindlichkeit für den gleichstimmigen objectiven Ton geschwächt, es existirt eine Ermüdung des Gehörorganes. Zu den subjectiven Empfindungen rechnet man das Ohrenklingen, das meist als eine bestimmte, gewöhnlich sehr hohe Tonempfindung erscheint. Es tritt in Folge von Abnormitäten der Blutcirculation im Gehirn und inneren Ohr ein, nach Blutverlusten, vor dem Eintritt von Ohnmachten, bei grosser körperlicher Ermattung, z. B. im Beginn von Krankheiten, nach narkotischen Vergiftungen, nach Chiningebrauch. Viel häufiger ist aber der Grund für das Ohrenklingen nur ein ganz lokaler. Es scheint sich dabei um eine durch abnorme Ursachen hervorgerufene Erregung eines oder mehrerer benachbarter akustischer Endorgane handeln zu können, da man dann bei dem subjectiven Hören musikalischer Töne Hyperästhesie gegen die entsprechenden objectiven Töne findet (Moos, Czerny u. A.). Die subjectiven und entotischen Gehörempfindungen werden meist weder von Gesunden noch Gehörkranken nach aussen verlegt, doch können sie bei Trübung der Verstandeskräfte auch Gelegenheit zu Hallucinationen geben.

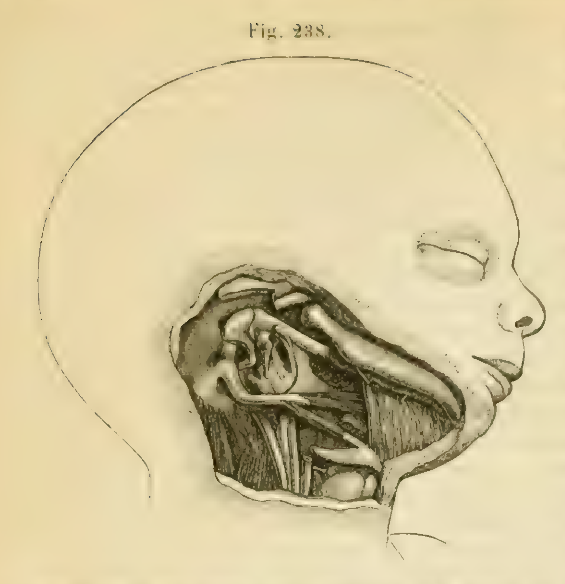
In neuerer Zeit wird wieder vielfach behauptet, dass auch durch electrische Reizung (des Akustikus) Gehörempfindungen hervorgerufen werden können (Brenner, W. Erb).

Zur Entwickelungsgeschichte des Ohres.

Die ersten Stadien der Entwickelung des Ohres cf. oben S. 820.

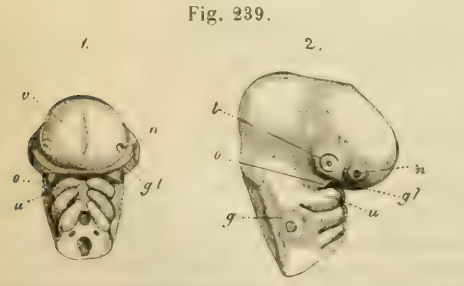
Der wesentliche Theil des inneren Ohres, das häutige Labyrinth, die Säckchen, halbkreisförmigen Canäle und der eigentliche Schneckencanal stellen (Kolliker) im ersten Anfange zunächst ein nach aussen an der Körperoberfläche sich öffnendes Grübchen dar, welches sich zu einem rings geschlossenen runden, Otolithen enthaltenden, mit Flüssigkeit gefüllten Bläschen umbildet, welches dann Aehnlichkeit mit den blasenförmigen Gehörorganen niederer Thiere z. B. der Schnecken zeigt. Der Hörnerv entsteht selbständig nach Art der gangliösen Kopfnerven in den Urwirbelplatten des Kopfes und tritt erst in der Folge sowohl mit dem häutigen Labyrinthe als mit der dritten Hirnblase, dem Nachhirn, in Verbindung. Vom mittleren Keimblatt werden durch Anlagerungen die knorpeligen und theilweise auch die häutigen

Fig. 238.



Kopf und Hals eines menschlichen Embryo aus dem 5. Monate (von circa 18 Wochen) vergrössert. Der Unterkiefer ist etwas nach oben gezogen, um den MECKEL'schen Knorpel zu zeigen, der zum Hammer führt. Aussen an demselben liegt der Nervus mylohyoides, innen davon der Querschnitt des Pterygoideus internus und der M. mylohyoideus. Das Trommelfell ist entfernt und der Annulus tympanicus sichtbar, der mit seinem breiten vorderen Ende den MECKEL'schen Knorpel deckt und dicht hinter sich den Eingang in die Tuba Eustachii zeigt. Ausserdem sieht man Amboss und Steigbügel sammt dem Promontorium, dahinter die knorpelige Pars mastoidea mit dem Proc. mastoideus und dem langen gebogenen Pr. styloideus, zwischen beiden das Foramen stylomastoideum; ferner den M. styloglossus, darunter das Lig. stylohyoideum zum Cornu minus ossis hyoidei, dessen Cornu majus auch deutlich ist, und den abgeschnittenen M. stylohyoideus. Am Halse sind blossgelegt der N. hypoglossus, die Carotis, der Vagus, einige Muskeln und der Kehlkopf zum Theil.

Fig. 239.



Kopf eines Hühnerembryo vom dritten Tage, vergr., Chromsäurepräparat. 1. von vorn, 2. von der Seite. *n* Geruchsgrübchen, *l* Linse mit einer runden Oeffnung, durch die ihre Höhle nach aussen mündet, *gl* Augenspalte, die mit der Bildung des Glaskörpers zusammenhängt. *o* Oberkieferfortsatz des ersten Kiemenbogens, *u* Unterkieferfortsatz desselben, *g* Gehörbläschen durch eine runde Oeffnung nach aussen mündend. Ausserdem sind noch der zweite und dritte Kiemenbogen und in der Fig. 1 auch die Mundspalte sichtbar.

Umhüllungen des Labyrinths geliefert; das mittlere und äussere Ohr mit den Gehörknöchelchen und dem Trommelfell entstehen aus Theilen der Kiemenbogen und der ersten Kiemenspalte (S. 52, Fig. 49, 239).

Aeusseres und mittleres Ohr. — Der knorpelige Theil des ersten Kiemenbogens bildet Hammer und Amboss und den sogenannten MECKEL'schen Fortsatz (Fig. 238). Hammer und Amboss sind im Anfang knorpelig, im 4. Monat beginnen sie vom Periost aus zu verknöchern (H. MÜLLER), beim Neugeborenen sind sie innen noch knorpelig. Der MECKEL'sche Fortsatz erhält sich unverknöchert bis zum 8. Monat, von da an schwindet er bis auf den langen Hammerfortsatz. Der Steigbügel geht aus dem Anfangsstück des zweiten Kiemenbogens hervor. Der Steigbügel ist zunächst ein undurchbohrtes, stabförmiges Gebilde, wie bleibend bei vielen Thieren, erst später entsteht in dem noch knorpeligen Steigbügel durch Resorption ein Loch, woraus sich dann seine eigenthümliche Form weiter entwickelt. Während des Fötallebens sind die Gehörknöchelchen in ein Gallertgewebe eingelagert, das erst mit dem Eintritt der geathmeten Luft in die Tuba und Paukenhöhle in eine Schleimhaut umgewandelt wird. Dasselbe Gallertgewebe, welches die Paukenhöhle erfüllt, verschliesst im Fötalleben auch die Tuba. Das Trommelfell ist beim Embryo dicker, besonders sein Cutisüberzug, seine Stellung ist nahezu horizontal. Der knöcherne Gehörgang entsteht aus dem knöchernen Annulus tympanicus, der erst nach der Geburt mit dem Felsenbeine verwächst (Fig. 238).

Labyrinth. — Beim Hühnchen entstehen in der zweiten Hälfte des zweiten Brüttages an beiden Kopfseiten, etwa in der Nachhirnmitte, in der Gegend der Urwirbelplatten (also eigentlich dem Rücken entsprechend) die oben erwähnten beiden seichten

Grübchen, deren Mündung am Ende des zweiten Tages schon ziemlich eng erscheint und sich am dritten Tage schliesst. Es entsteht dadurch ein Bläschen: Gehör- oder Labyrinthbläschen. Ebenso ist die Bildung des Gehörbläschens bei Fischen. Aus den Beobachtungen Bischoff's geht hervor, dass auch bei den Säugethieren die Bildung in dieser Weise erfolgt. Nach Rathke und Reissner wird das Labyrinthbläschen durch Wachsthum seiner epithelialen Membran zunächst birnförmig und scheidet sich in einen oberen länglichen, der Verschlussstelle des Bläschens zugerichteten Anhang (Recessus labyrinthi, Reissner) und einen unteren rundlichen Abschnitt, die Anlage des Vorhofs. Bald bildet sich an dem letzteren, der sich zu einem rundlich-eckigen Säckchen ausbuchtet, ein zweiter Anhang nach vorn und unten hervor, die Anlage der Schnecke. An der Vorhofsanlage entstehen rundliche, dann in die Länge sich ziehende Aussackungen, die später in ihren mittleren Theilen zu je einem, zuerst kurzen, kreisförmigen Canal verwachsen (Fig. 240). Das runde Säckchen bildet sich wahrscheinlich durch eine analoge Abschnürung aus der allgemeinen Vorhofsanlage. In derselben Weise, wie das auch vom äusseren Keimblatt sich abschnürende Medullarrohr, erhält auch die Labyrinthblase vom mittleren Keimblatt eine bindegewebige und gefässhaltige Hülle und eine äussere festere, knorpelige, später verknöchernde Kapsel. Der mit dem äusseren Labyrinthwasser erfüllte Raum enthält zuerst Gallertgewebe.

Die Schnecke, d. h. der eigentliche Schneckencanal, erscheint (Kölliker) in der ersten Anlage als eine längliche Ausbuchtung der primitiven Labyrinthblase. In seiner noch weichen Umhüllung wächst der Schneckencanal, Ductus cochlearis, in die Länge und krümmt sich dabei nach innen, bis er horizontal in der Schädelbasis liegt. Seine Form ist dann ziemlich genau so, wie sich der Schneckencanal bei den Vögeln und bei den niedersten Säugern

Fig. 240.



Entwickelung des Labyrinthes beim Hühnchen. Senkrechte Querschnitte der Schädelanlage. *fl* Labyrinthgrube. *lv* Labyrinthbläschen. *c* Anlage der Schnecke. *lr* Recessus labyrinthi. *csp* Hinterer Bogengang. *cse* Aeusserer Bogengang. *jv* Jugularvene.

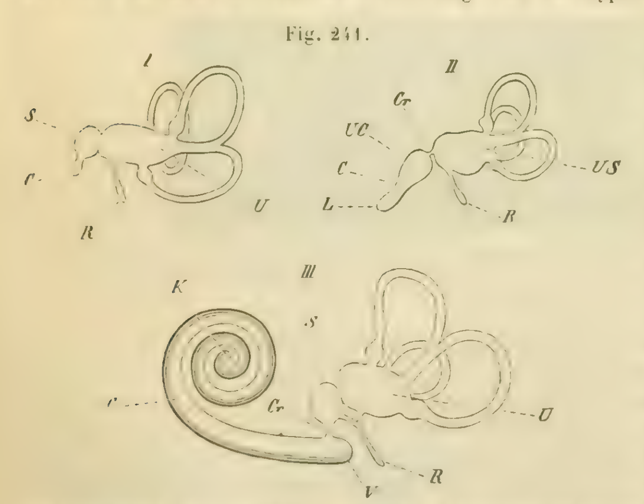
(Echidna, Ornithorhynchus) findet. Bei dem Menschen und den übrigen Säugern wächst das Rohr zu der bekannten Spiralkrümmung aus. Die umgebende Schädelwand wuchert mit und stellt eine Kapsel um das Schneckenrohr dar. In der achten Woche hat der menschliche Schneckencanal schon eine ganze Windung, in der zwölften Woche ist er vollkommen ausgebildet. Die Corti'sche Membran ist eine Cuticularbildung. Die Verknöcherung der Labyrinthkapsel beginnt etwa im sechsten Monat, Modiolus und Lamina spiralis sind zu der Zeit noch ganz häutig (Kölliker).

Zur vergleichenden Anatomie des Ohres.

Häutiges Labyrinth der Wirbelthiere (Waldeyer). — Das eirunde Säckchen mit den halbkreisförmigen Canälen zeigt sich schon bei der Mehrzahl der Fische in vollkommener Entwickelung. Eine wesentliche Ausbildung des runden Säckchens und des Schneckencanals findet sich erst bei den höheren Wirbelthieren. Bei den Knochenfischen findet sich die erste Andeutung eines Schneckencanals, Ductus cochlearis. Es ist das die kleine von

Breschet Cysticula benannte Ausbuchtung des runden Säckchens (Hasse, Fig. 241 I, C). Bei den Amphibien finden sich ebenfalls der Schnecke zuzurechnende Abschnitte des Sacculus und zwar, ausser einer der Cysticula entsprechenden Ausbuchtung, Verdickungen der Wand mit besonderen Nervenendigungen (Deiters, Hasse). Bei den Reptilien, besonders bei den Krokodilen, erheben sich sämmtliche Abtheilungen der Schnecke als kegelförmiger Anhang über das Niveau des Säckchens. Bei den Vögeln scheinen die beiden Säckchen zu einem gemeinsamen Alveus communis verschmolzen (Hasse), der Schneckencanal zeigt sich bedeutend verlängert, und man kann an ihm mehrere Abschnitte, den Anfangstheil oder die eigentliche Schnecke, und den flaschenförmigen Endabschnitt, die Lagena (Windischmann), der Cysticula der Amphibien entsprechend, unterscheiden. Der Schneckencanal zeigt schon Andeutungen einer spiraligen Aufwickelung; er communicirt mit dem Alveus durch einen engen (manchmal oblitterirenden) Canal, Canalis reuniens (Fig. 241, II). Bei den niedersten Säugern sind die Verhältnisse des inneren Ohres denen bei den Vögeln ähnlich, das Labyrinth der höheren Säuger entspricht dem des Menschen (Fig. 241, III). Sowohl das runde als das eirunde Säckchen enthalten Otolithen von konstanter, aber nach den Abtheilungen wechselnder Form. Der oben S. 925 beschriebene Endsack des häutigen Aquaeductus vestibuli endigt bei fast allen Wirbelthieren blind intracraniell, bei Haifischen und Rochen (Plagiostomen) gelangt derselbe, durch die Knorpelkapsel des Schädels brechend, auf dessen Oberfläche (Hasse); Wiedersheim entdeckte, dass der endolymphatische Endsack bei einer Art Haftzeher, dem auf Sardinien und dem Felseneiland Tinetto lebenden Phyllodactylus europaeus, nicht nur die Schädelhöhle verlässt, sondern als ein mächtig entwickelter, mit Otolithen gefüllter Beutel: Krystallsack, bis zur Halsregion herabreicht. Bei vielen Teleostiern (Gegenbaur) steht das häutige Labyrinth mit der Schwimmblase in einer an das mittlere Ohr beim Menschen erinnernden Verbindung. Bei den Cyprinoiden verläuft von jedem der beiden Vorhöfe aus je ein Canal nach hinten, die durch einen querverlaufenden Sinus impar mit einander communiciren. Aus letzterem tritt jederseits ein häutiges Säckchen (Atrium sinus imparis) zu einer am hinteren Schädelabschnitte gelegenen, durch ein napfförmiges Knochenstückchen theilweise verschlossenen Oeffnung. Das Knochenstückchen steht durch Bandmasse mit einer Reihe verschieden gestalteter, theilweise aus Modificationen der Rippen hervorgehenden Knöchelchen in Verbindung, das grösste ist an dem vorderen Ende der Schwimmblase befestigt, wodurch eine continuirliche Kette zwischen Vorhof und Schwimmblase hergestellt wird. Aehnliche theilweise noch complicirtere Apparate sind bekannt bei den Siluroiden, Clupeiden etc. (Reissner, E. H. Weber). In den Theilen der knöchernen Labyrinthwand, welche an der Aussenfläche des Schädels liegen, zeigen sich schon, bei den

Fig. 241.



Drei schematische Zeichnungen zur Erläuterung der Verhältnisse des Gehörlabyrinthes in der Wirbelthierreihe. I) Schema des Fischlabyrinthes. *U* Utriculus mit Bogengängen. *S* Sacculus. *C* Cysticula. *R* Aquaeductus vestibuli. II) Schema des Vogellabyrinthes. *US* Alveus communis. *C* Cochlea. *UC* Anfangstheil der Schnecke. *L* Lagena. *Cr* Canalis reuniens. *R* wie vorhin. III) Schema des Säugethierlabyrinthes. *U*, *S*, *Cr* wie vorhin. *R* Aequaeductus vestibuli, sich in zwei Schenkel für Utriculus und Sacculus spaltend. Seine oben S. 925 beschriebene blasige intracranielle Erweiterung ist weggelassen. *C* Ductus cochlearis mit *V*, dem Vorhofsblindsacke, und *K*, dem Kuppelblindsacke.

Amphibien beginnend, Lücken, welche in mannigfacher Weise eine Communication mit anderen mit dem inneren Ohre sich verbindenden Apparaten ermöglichen. Solche Oeffnungen sind die beiden Fenster des Labyrinths. In das ovale Fenster ist stets ein plattenförmiges Knochenstück eingesetzt. Das mit einer Membran verschlossene runde Fenster findet sich zuerst bei den Reptilien.

Der erste Kiemenbogen besteht bei Fischen (Selachiern und Ganoiden) als *Spritzloch* fort, in der Wirbelthierreihe aufsteigend, von den Amphibien an, finden wir ihn in nähere Beziehung zum Labyrinth treten und einen Hohlraum bilden, welcher in seinem von der Labyrinthwand begrenzten weiteren Theile als Paukenhöhle bezeichnet wird; der in die primitive Mundhöhle führende Abschnitt, welcher sich von dieser in die Paukenhöhle ausstülpt, heisst Tuba Eustachii. Während der ersten Entwickelung besteht bei allen Wirbelthieren eine offene, dem Spritzloch entsprechende Communication von aussen nach innen. In der Folge bildet sich ein Verschluss der Visceralspalte, welcher (Gegenbaur) bei Cöcilien und Urodelen (Schwanzlurchen) vollkommen wird; bei den Anuren finden sich dagegen Uebergänge bis zur Bildung einer Paukenhöhle, die nach aussen von einem Trommelfell abgeschlossen wird. Bei den meisten Reptilien und Vögeln findet sich Paukenhöhle und Trommelfell, letzteres fehlt dem Chamäleon, die Paukenhöhle den Schlangen und Amphisbaenen. Die beiden Tuben vereinigen sich bei Krokodilen, Vögeln (und bei Pipa) zu einem einfachen Gange.

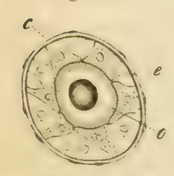
Mit dem knöchernen Labyrinthe verbindet sich ein Abschnitt des Visceralskelettes: *die Gehörknöchelchen*, zu einem eigenen Knochenapparat. Aus dem obersten Abschnitt des *zweiten* Kiemenbogens, aus dem sich auch bei Säugethieren der Steigbügel entwickelt, entsteht ganz allgemein bei den Wirbelthieren ein in das ovale Fenster durch ein Ringband eingesetztes, getrenntes Skeletstückchen. Bei den Urodelen ist es ein plattes Knöchelchen: *Operculum*, das mit dem Palato-Quadratum sich entweder durch ein Band verbindet oder einen stielartigen Fortsatz besitzt. Aehnlich ist es bei den Schlangen (Eurystomata), bei welchen ein Knochenstückchen: *Columella*, zum Quadratbein verläuft. Wo sich ein Trommelfell findet, setzt sich die Columella mit diesem in Verbindung und erscheint dann mehr oder weniger innerhalb der Paukenhöhle gelagert. Diese Verbindung tritt zuerst bei den *Anuren* auf, und in vervollkommneter Weise, indem sich die Paukenhöhle erweitert, bei *Sauriern*, *Cheloniern* und *Vögeln*. Bei den Schildkröten ist die Columella ein langes, dünnes Knöchelchen mit einer in das ovale Fenster eingesetzten Fussplatte. Meist zeigt sie gegen ihre Fussplatte zu nur eine Verbreiterung, bei einigen Vögeln (Dromaeus) nähert sie sich mehr der Gestalt des Säugethiersteigbügels, indem sie in zwei Schenkel zerfällt. Bei den Säugethieren verbindet sich die Columella = Stapes, *Steigbügel*, niemals direct mit dem Trommelfell. Die beiden anderen Gehörknöchelchen bilden sich aus Resten des ersten Kiemenbogens (cf. S. 942). Bei den Monotremen und Beutelthieren ist die Form des Steigbügels reptilienartig. Der Steigbügel ist *unbeweglich*, indem er mit dem Rande des ovalen Fensters *verwächst* (?), bei Wiederkäuern, Einhufern u. a. ist seine Verbindung äusserst fest. Auch sonst kommen noch eigenthümliche, die Function der Gehörknöchelchen, wie es scheint, wesentlich beschränkende Verbindungen derselben vor. Bei *Echidna* ist nicht nur der Hammer mit dem Amboss vereinigt, sondern auch der sehr starke und lange Hammerfortsatz verschmilzt mit dem Tympanicum.

Das äussere Ohr geht aus den Randbildungen der ersten Kiemenspalte hervor. Bei Amphibien, Reptilien und Vögeln finden sich dem äusseren Ohre der Säuger entsprechende Bildungen nur vereinzelt. Bei Krokodilen z. B. deckt eine Hautfalte mit knöcherner Einlage das Trommelfell, bei Eulen findet sich eine bewegliche häutige Ohrklappe. Bei Sauriern tritt ein kurzer, äusserer knöcherner Gehörgang auf. Den Monotremen fehlt das äussere Ohr; bei den im Wasser lebenden Säugethieren zeigt es eine auffallende Rückbildung oder fehlt ebenfalls ganz.

Die Gehörorgane wirbelloser Thiere. — Bei den *Medusen* werden meist die Krystalle enthaltenden Randbläschen als Gehörorgane angesprochen. Bei den *Würmern* finden

sich ziemlich verbreitet Hörorgane, welche aus einer innen nicht selten (Gegenbaur) mit cilientragenden Zellen ausgekleideten bläschenförmigen Kapsel bestehen, in welcher ein grosserer Otolith oder ein Haufen kleinerer eingeschlossen sind. In einigen Fällen ist die Beziehung dieser Gehörbläschen zu dem Nervensysteme konstatirt. Die Gehörorgane der Krustenthiere fanden oben (S. 937) ihre Besprechung. Hier stehen »Horhaare« theils an freien Körperstellen, theils in offenen Hörgruben, theils in Gehörbläschen. Die Hörhaare erscheinen hier nur als Modificationen anderer ebenfalls Nervenendigungen erhaltender »Haare« des Integuments, wie z. B. der »Taststäbchen« (Gegenbaur, Hensen). Bei den Insecten ist das Gehororgan, so weit es sich hat nachweisen lassen, ganz anders gebaut (J. Müller, v. Siebold, Leydig, Hensen u. A.). Im Allgemeinen ist eine Membran, »Tympanum«, wie ein Trommelfell an einem festen Chitinring ausgespannt. An ihrer dem Innern des Körpers zugekehrten Fläche lagert sich eine Tracheenblase. Zwischen ihr und dem Trommelfell findet sich eine ganglienartige Nervenausbreitung, säulenförmige Stiftchen in bestimmter Anordnung erscheinen als Nervenendorgane, sie hängen mit dem Ganglion durch feine starre (J. Ranke) Ausläufer zusammen. Die Lage des Gehörorgans ist wechselnd. Bei Acridiern findet es sich dicht über der Basis des dritten Fusspaares, bei Locustiden und Achetiden liegt es in den Schienen der beiden Vorderfüsse. An der Wurzel der Hinterflügel der Käfer, und an der Schwingkolbenbasis der Dipteren finden sich den Gehörorganen zuzurechnende Gebilde, aber ohne Tympanum, doch mit ähnlichen stiftartigen Nervenendorganen. Das Hörorgan der Mollusken besteht im Allgemeinen aus einem im Innern mit Cilien tragenden Zellen besetzten Bläschen, in welchem feste kugelige Concretionen oder krystallinische Gebilde als Otolithen enthalten sind. Die Brachiopoden scheinen nur im Larvenzustande Gehörorgane zu besitzen. Das Hörbläschen der Lamellibranchiaten liegt am Fussganglion an (v. Siebold) (Fig. 242). Analoge verschieden gelagerte Hörbläschen mit Otolithen finden sich bei Cephalophoren und Heteropoden. Bei letzteren (Pterotrachea) tragen die Epithelzellen starre borstenförmige, nur an der Ursprungsstelle bewegliche Cilien von verschiedener, gegen den einen Pol der kugeligen Blase zu abnehmender Länge. Die Cilien liegen im akustischen Ruhezustand des Ohres an der Innenwand der Hörblase an, bei stärkeren Geräuschen und Tönen schnellen sie aber auf und stossen den grossen kugeligen Otolithen gegen jenen Pol zu, wo sich ein eigentliches **akustisches Organ** befindet, in dessen Mitte eine von kleineren Stäbchenzellen umgebene mächtige, stäbchentragende akustische Zelle steht (J. Ranke). Bei den Cephalopoden werden die Formen des Organs mannigfaltiger. Bei den Dibranchiaten wird das Bläschen, das damit eine Art Labyrinth darstellt, von Knorpel umschlossen, bei Decapoden wird seine Form durch Ausbuchtungen und Vorsprünge noch complicirter. Die Endigungen der Hörnerven finden sich an zwei Wandstellen und zwar an einer wahren Crista acustica mit Stäbchenzellen und cuticularer Deckplatte, analog den Einrichtungen im Wirbelthierohre.

Fig. 242.



Hörorgan von Cyclas. *c* Gehörkapsel, *e* Wimpertragende Epithelzellen. *o* Otolith. (Nach Leydig).

Fünfundzwanzigstes Capitel.

Geruchssinn und Geschmackssinn.

I. Der Geruchssinn.

Das Geruchsorgan.

Die beiden Sinnesorgane, welche uns noch zu betrachten obliegt, haben insofern einige Aehnlichkeit, als für beide chemische Agentien den normalen Reiz darstellen.

Die specifische Sinnesthätigkeit, welche wir subjektiv als Riechen bezeichnen, wird normal durch die Endorgane des N. Olfactorius angeregt, welche ihren Reizungszustand, der nur durch gewisse flüchtige oder gasförmige, bis zu einem gewissen Grade in Wasser, d. h. in der Gewebsflüssigkeit, welche die Riechschleimhaut durchtränkt, löslichen Stoffe hervorgerufen wird, auf die Olfactoriusfasern und von da auf die Centralorgane des Geruchssinns im Gehirn übertragen. Die Erregung gewisser Gehirnpartien erweckt die Vorstellung einer Geruchsempfindung, deren Quelle stets nach aussen verlegt wird.

Nur die obersten Theile der Schleimhaut der eigentlichen Nasenhöhlen, an denen allein sich der Olfactorius verbreitet, stehen in directer Beziehung zu den Geruchsempfindungen. Die übrigen Theile der Nasenhöhlen und ihrer bekannten Nebenhöhlen sind als Anhänge und Thore der Respirationsorgane zu betrachten.

Die äussere Haut der Nase, welche sich durch geringe Entwickelung des Papillarkörpers, sowie durch eine sehr feine Epidermis auszeichnet, erstreckt sich noch etwas über den Rand der Nasenlöcher in die unteren Abschnitte der Nasenhöhlen, und geht dort allmählig in die Schleimhaut der Nase über. Der grösste Theil der Innenwand der Nasenhöhlen wird von einer flimmernden Schleimhaut ausgekleidet, ein kleinerer Theil, an welchem sich die Fasern des Olfactorius verbreiten: die eigentliche Geruchsschleimhaut, trägt ein nicht flimmerndes Epithel.

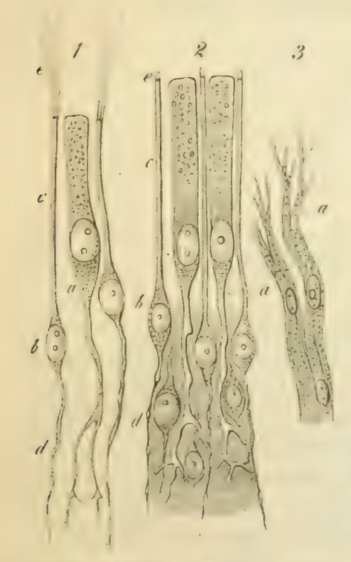
Der flimmernde Theil der Schleimhaut besitzt eine grosse Anzahl traubenförmiger Schleimdrüsen, sowie eine reichliche Menge von Venen, welche na-

60*

mentlich am Rande und an dem hinteren Ende der unteren Muschel fast kavernöse Venennetze bilden (Kölliker). In den Nebenhöhlen der Nase fehlen die Schleimdrüsen fast gänzlich.

Die eigentliche Riechschleimhaut, welche besonders durch M. Schultze erforscht worden ist, überkleidet den oberen Theil der Nasenscheidewand und die beiden oberen Nasenmuscheln. Eine gelbliche Färbung unterscheidet die eigentliche Riechschleimhaut schon für das unbewaffnete Auge von dem flimmernden, von durchschimmerndem Blut mehr röthlich gefärbten respiratorischen Theile der Nasenschleimhaut. Das Epithel der Riechschleimhaut ist dick, aber ungemein zart und weich und besteht aus einer Schicht langgestreckter Zellen von doppelter Form. Die einen erscheinen als Cylinderzellen, welche verästelte Ausläufer nach abwärts senden. Diese Zellen enthalten längliche Kerne, eingebettet in einen körnigen Inhalt, in dem man gelbe oder braunrothe Farbkörnchen eingestreut findet, welche der ganzen Membran die eigenthümliche Färbung verleihen. Zwischen diesen Cylinderzellen, Stützzellen, finden sich die von M. Schultze entdeckten Riechzellen. Es sind langgestreckte spindelförmige Zellen mit rundem hellem Kern und Kernkörperchen ohne farbigen Inhalt (Fig. 243). Jede solche Zelle besitzt zwei Ausläufer, von denen der eine etwas dickere zwischen den Epithelzellen nach aufwärts steigt und mit einem abgestutzten Ende an der Oberfläche der Epithelschicht, also frei endigt. Bei Vögeln und Amphibien ist das freie Ende mit Cilien (Riechhärchen) besetzt, welche dem Menschen und den Säugern fehlen. Der zweite Fortsatz ist sehr fein, geht nach abwärts gegen die Schleimhaut und zeigt jene varikösen Anschwellungen, wie sie so häufig an den feinsten Nervenfäserchen, durch die Präparationsmethoden bedingt, auftreten. Die Basalfortsätze werden als die feinsten Fibrillen des Olfactorius gedeutet. Nach Exner bilden sie zunächst ein feines Maschenwerk, in welches die Fasern des Olfactorius zunächst übergehen und mit welchem sich auch die breiteren Endfasern der sogenannten Epithelzellen verbinden sollen, was M. Schultze nicht bestätigen konnte. Um jede Cylinderzelle der Riechschleimhaut steht nach Babuchin ein Kranz von Riechzellen (Fig. 244). A. von Brunn entdeckte, dass die freie Fläche des Riechepithels von einer Deckhaut: Membrana limitans olfactoria, bedeckt und gegen die Aussenwelt abgeschlossen sei. Die peripherischen Fortsätze der Riechzellen durchbohren diese Grenzschicht in kurzen Kanälchen und endigen frei auf der Oberfläche,

Fig. 243.



1. Zellen der Regio olfactoria vom Frosche. *a* Eine Epithelialzelle, nach unten in einen ramificirten Fortsatz ausgehend; *b* Riechzellen mit dem absteigenden Faden *d*, dem peripherischen Stäbchen *c* und den langen Flimmerhaaren *e*. 2. Zellen aus der gleichen Gegend vom Menschen. Die Bezeichnung dieselbe; nur kommen auf den Stiftchen (als Artefacte) kurze Aufsätze *e* vor. 3. Nervenfasern des Olfactorius vom Hunde, bei *a* in feinere Fibrillen zerfallend.

nur erstere können sonach die Einwirkungen der Geruchsstoffe direct aufnehmen.

Babuchin beschreibt noch andere eigenthümlich gestaltete, den Engelmann'schen Gabelzellen in den Geschmacksorganen der Froschzunge ähnliche Zellen in der Riechschleimhaut, die an Nervenendorgane erinnern. Auch freie Nervenendigungen scheinen ihm vorzukommen, vielleicht die einfach sensiblen Nerven der Nasenschleimhaut (cf. unten).

Im Tractus olfactorius, besitzt der Olfactorius dunkelrandige Nervenfasern, im Bulbus finden sich neben diesen auch viele Nervenzellen. Die Fasern des Olfactorius: die Nervi olfactorii unterscheiden sich dagegen auch in ihren Hauptstämmchen schon wesentlich von den übrigen Nerven. Die Fasern, aus denen sie bestehen, sind blass, mit Kernen versehen, körnig, plattgedrückt. M. Schultze hält diese Nervenfasern noch weiter aus feinsten Fäserchen zusammengesetzt, welche von einer zarten Scheide zusammengehalten werden. Gegen die Endäste gehen die breiteren Fasern nach und nach in feinere Fasern über; nach M. Schultze spaltet sich schliesslich jede Olfactoriusfaser in ein Bündel feinster, variköser, blasser Fäserchen, welche die Schleimhaut durchbohren und jedes sich mit einer Riechzelle verbinden.

Fig. 244.



Flächenansicht der Epithelschicht der Riechgegend nach Behandlung mit salpetersaurem Silberoxyd (Proteus).

Die dem Geruchssinn nicht dienenden Theile der inneren Nase werden von den Aesten des N. trigeminus (Ethmoidalis, Nasales posteriores, Ast des Dentalis anterior major) versehen. Sie senden ihre dunkelrandigen Fasern, die sich scharf von den blassen Olfactoriusfasern unterscheiden, auch in die eigentliche Riechhaut hinein (Kölliker, M. Schultze).

Bei dem Menschen finden sich in der Riechschleimhaut einfache Schleimdrüsen, deren Sekret die Oberfläche feucht und dadurch geeignet für die Aufnahme von Geruchseindrücken erhält.

Zur Entwickelungsgeschichte. — (S. 820.) Die Riechorgane erscheinen noch in der 4. Woche des menschlichen Embryonallebens als seichte, ganz vorn am Kopfe gelegene Grübchen (Reichert, Bischoff u. A.), welche sich in der Folge mit der Mundhöhle zunächst zu einer gemeinsamen Grube vereinigen. Die anfangs ganz flachen und kleinen rundlichen Riechgrübchen vertiefen sich bald und umgeben sich mit einem leicht hervortretenden Rand. Schon am 2. Tage zeigen sich beim Hühnchen, bei welchem die Entwickelung ziemlich genau der beim Menschen beobachteten entspricht (Kölliker), die Riechgrübchen vergrössert und vertieft, ihre Form wird länglich, am unteren schmalen Ende tritt eine Furche (Nasenfurche) in der Wallumgrenzung auf, welche das Grübchen mit dem Eingang der primitiven Mundhöhle verbindet, woraus sich durch Vertiefung der Furche eine offene Verbindung der nun schon ziemlich stark vertieften primitiven Nasenhöhle und primitiven Mundhöhle herausbildet. Durch Anlagerung des Oberkieferfortsatzes wird die Nasenfurche äusserlich geschlossen und das äussere Nasenloch abgegrenzt, innen bleiben die Nasenfurchen offen und münden als innere Nasenlöcher in die primitive Mundhöhle. Beim Menschen beginnt am Ende des zweiten Monats der Gaumen sich zu bilden, durch welchen die primitive Mundhöhle in einen oberen respiratorischen und einen unteren digestiven Abschnitt getrennt wird. Die Ductus nasopalatini sind die, auch beim Embryo engen, Reste der ursprünglichen Verbindung der Mund- und Nasenhöhle. Die Nasenmuscheln erscheinen als knorpelige Auswüchse der Seitentheile der knorpeligen Nase schon im zweiten Monat, im dritten Monat ist das Nasenlabyrinth im Wesentlichen fertig gebildet. Nun beginnen auch die Stirnhöhlen und anderen Nebenhöhlen sich zu entwickeln, indem durch Resorption Lücken im Knochen entstehen, in welche die Schleimhaut sich aussackt. Die äussere Nase wird am Ende des zweiten Monats durch Hervorwachsen des vorderen Endes des Nasentheils des Primordialschädels angelegt, anfangs ist sie kurz und breit. Die Nasenlöcher sind im dritten Monat mit einem im fünften Monat verschwindenden gallertigen, aus Schleim und abgelösten Epithelzellen be-

stehenden Pfropf geschlossen. Der Tractus und Bulbus olfactorius entstehen als Ausstülpungen der ersten Hirnblase. Von dem Bulbus aus scheinen die Nervi olfactorii in das Nasenlabyrinth hinein zu wachsen.

Zur vergleichenden Anatomie. — Fast alle Hauptstadien der Nasenbildung des Menschen zeigen sich bei gewissen Wirbelthieren als bleibende Bildungen. Die geschlossenen Riechgruben der Fische entsprechen dem embryonalen Riechgrübchen. Beständig im Wasser lebende Thiere können keine Geruchsempfindungen haben, welche denen in der Luft lebender Thiere vollkommen entsprechen, ihr Riechen wird sich mehr den bei ihnen ganz besonders entwickelten Geschmacksempfindungen (cf. unten) anreihen; auch beim Menschen haben die Eindrücke beider Sinne manches Gemeinsame. Bei den Batrachiern münden die Geruchsorgane durch kurze Nasengänge vorn in die der primitiven Mundhöhle der Embryonen entsprechende Mundhöhle ein. Bei den übrigen Wirbelthieren findet sich ein mehr oder weniger entwickelter Gaumen mit kürzeren oder längeren wahren Nasenrachengängen und einem Labyrinthe. Das Verhalten der Amphibien theilen unter den Fischen die Dipnoi. Bei den Leptocardiern ist die Riechgrube einfach (Monorhina), auch bei Cyclostomen, jedoch zu einem Schlauche vertieft, bei Petromyzon endigt derselbe blind, bei den Myxinoiden steht er mit der Mundhöhle in offener Verbindung. Die übrigen Wirbelthiere besitzen paarige Riechorgane. Bei Selachiern und Chimaeren bleibt die embryonale Nasenrinne stabil, sie verläuft zu den Mundwinkeln, bei Rochen ist sie in einen tieferen Canal umgewandelt. Die Ausbreitung und Endigung des Olfactorius findet sich bei Säugethieren wie beim Menschen nur auf der oberen Nasenmuschel und dem oberen Abschnitt der Nasenscheidewand. In der Regio olfactoria finden sich bei allen Wirbelthieren die oben beschriebenen Riechzellen, welche man als Endorgane des Olfactorius deutet.

Unter den wirbellosen Thieren treten die ersten als Riechorgane oder Geschmacksorgane (?) gedeuteten Sinnesorgane als mit wimpernden Zellen ausgekleidete, seichtere oder flaschenförmige Gruben, zu denen starke Nerven herantreten, bei den Würmern auf. Bei den Nemertinen liegen sie an den Seiten des Kopftheils, bei den Tunicaten vor der dorsalen Befestigung des Kiemenbalkens. Bei den Arthropoden liegen die von Leydig u. A. entdeckten Geruchsorgane an den Antennen. Sie bilden bei den Crustaceen feine Anhänge, Riechstäbchen, an den inneren Antennen. Auch an den Fühlern (Antennen) der Insecten finden sich kürzere Papillen oder feine Leisten, die man jetzt als Riechstäbchen deutet, während man früher grubenförmige Vertiefungen an den Fühlern als Riechorgane auffasste. Bei den Mollusken werden grösstentheils wimpertragende Stellen, zu welchen ein manchmal eine Anschwellung bildender Nerv verläuft, als Geruchsorgane angesprochen. Bei den Cephalopoden finden sich Riechgrübchen oder flache Papillen dicht hinter den Augen liegend mit Wimperzellen besetzt, es tritt ein Nerv heran, der neben dem Sehnerven entspringt (Gegenbaur). Nach Sernoff finden sich hier Riechzellen, denen der Wirbelthiere ganz analog.

Die Geruchsempfindungen.

Die Geruchsempfindungen besitzen keine definirbaren Qualitäten. Wir unterscheiden sie ziemlich scharf nach den einzelnen Stoffen, durch welche sie hervorgerufen werden, nach denen wir sie auch bezeichnen. Eine Reihe durch die Schleimhaut der Nase vermittelter Empfindungen, die man in der gewöhnlichen Ausdrucksweise auch zu den Geruchsempfindungen rechnet, z. B. der stechende Geruch, sind reine Gemeingefühlsempfindungen, die mit der specifischen Energie des Olfactorius nichts zu schaffen haben. Wir empfinden das stechende Gefühl, z. B. des Ammoniak oder der Essigsäure, durch die betreffenden Stoffe in analoger Weise an der Bindehaut des Auges wie an der Nasenschleimhaut.

Normale Geruchsempfindungen erfordern ein normales Verhalten der Endorgane des Olfactorius. Jedermann kennt die Störung der Geruchsempfindungen schon durch leichte katarrhalische Entzündungen der Nasenschleimhaut. Weber hat gefunden, dass das Riechvermögen für einige Minuten vollkommen aufgehoben werden kann, wenn wir, auf dem Rücken liegend, unsere Nasenhöhlen nur kurze Zeit mit Wasser gefüllt hatten.

Die Geruchsempfindungen kommen nur dann zu Stande, wenn die riechenden, gasartigen Stoffe in einem Luftstrom mehr oder weniger rasch in die Nase eingezogen werden (Spüren der Jagdhunde etc.). Stagnirt eine riechende Luft in den Nasenhöhlen, so haben wir keine Geruchsempfindung, eben so wenig, wenn der Luftstrom von der Mundhöhle in die Nase steigt, da wir normal nur Veränderungen in dem Erregungszustande unserer sensiblen Nerven, nicht dauernde Zustände zu empfinden vermögen. Es bricht sich bei dem raschen Einziehen der Luft durch die Nase die Luft an der unteren Nasenmuschel und steigt wenigstens theilweise in die oberen Regionen der Nasenhöhlen hinauf. Das Fehlen der unteren Nasenmuschel soll die Geruchswahrnehmungen beeinträchtigen, ja sogar aufheben. Bei einseitiger Facialislähmung, wobei die Luft weniger gut eingezogen werden kann, ist auf der gelähmten Seite die Riechfähigkeit geschwächt.

Die Intensität der Geruchsempfindungen, welche durch verschiedene, stärker oder schwächer riechende Stoffe hervorgerufen werden, ist ausserordentlich verschieden. Bei demselben riechbaren Stoffe steigt bei normalem Verhalten der Geruchsorgane die Intensität der Empfindung mit der Menge desselben, die in der in die Nase gezogenen Luft enthalten ist. Nach den Untersuchungen von Valentin riecht eine Luft noch nach Brom, welche in 1 ccm $^{1}/_{30000}$ mg Brom enthält. Für Moschus nimmt er als Grenze die Wahrnehmung an, wenn der Nase noch weniger als $^{1}/_{2000000}$ mg eines weingeistigen Moschusextraktes dargeboten wird. Der Geruch der Metalle scheint wie der der Electricität von Ozon herzurühren.

Mit der längeren Dauer des Geruchseindruckes ermüdet die Riechschleimhaut; wenn wir uns einige Zeit in einer riechenden Luft aufhalten, verschwindet endlich die Geruchswahrnehmung für den beständigen Geruch, ohne dass dadurch die Fähigkeit für das Erkennen anderer Gerüche abnimmt. Es erinnert uns diese Beobachtung daran, dass die Physiologie in Zukunft auch für die verschiedenen Qualitäten der Riechstoffe specifische Endorgane wird annehmen müssen. Im Alter atrophirt der Geruchsnerv mehr und mehr und die Feinheit des Sinnes nimmt dadurch ab. Bei vielen Greisen fehlt das Geruchsvermögen gänzlich (J. L. Prevost).

Es werden in manchen krankhaften Fällen hier und da subjektive Gerüche empfunden. Sehr häufig beruhen diese Beobachtungen sicher auf Täuschungen durch krankhaft gesteigerte Empfindlichkeit des Geruchsorganes, welches objektiv vorhandene, aber sehr schwache Gerüche noch wahrnimmt. Es werden dagegen auch Fälle berichtet, wo die subjektive Geruchsempfindung ihre Ursache in einer directen Reizung des Gehirnes zu haben scheint. Bei einem Manne, der immer einen üblen Geruch empfunden hatte, fanden Cullerier und Maignault, wie J. Müller berichtet, eine Eiterung in der Mitte der

Hemisphären des Gehirnes. DUBOIS hatte einen Mann gekannt, der nach einem Fall vom Pferde mehrere Jahre bis zu seinem Tode einen üblen Geruch zu riechen glaubte (J. MÜLLER). WICKHAM LEGG berichtet von einem Manne, welcher 3 Monate nach einem Falle auf die rechte hintere Scheitelbeingegend Geruch und Geschmack verloren hatte. Zur Zeit der Untersuchung roch ihm Alles nach Gas oder Paraffin. Brod schmeckte wie Holz etc. In den meisten Fällen von traumatischem Verlust des Geruchssinnes war die hintere Partie des Schädels betroffen.

Die Bezeichnung der Gerüche als angenehm oder unangenehm beruht zum Theil auf Vorstellungen, die sich an die Geruchsempfindung anschliessen. Diese Vorstellungen wechseln mit den physiologischen Körperzuständen: dem Hungrigen duftet eine Speise äusserst angenehm in die Nase; dem Gesättigten erregt derselbe Geruch Widerwillen. Der Geruchssinn ist die Quelle einer grossen Menge angenehmer Empfindungen, welche nicht ohne merklichen, oft sehr lebhaften Einfluss auf unser gesammtes körperliches (namentlich durch Einfluss auf die Herzbewegung) und geistiges Befinden bleiben (G. JAGER). Es ist aber bekannt, wie ungemein verschieden sich hierin verschiedene Individuen zeigen, so dass die Bezeichnung von angenehmen und unangenehmen Gerüchen nach ihrer physisch-psychischen Bedeutung fast für jedes Einzelindividuum wechselnd ist.

II. Der Geschmackssinn.

Schmecken.

Gewisse Substanzen, welche das Gemeinsame haben, dass sie sich im Wasser und in den Flüssigkeiten der Mundhöhle auflösen können, erregen die Endorgane der Geschmacksnerven, als welche vor Allem die Fasern des Glossopharyngeus angesprochen werden. Die Geschmacksempfindungen besitzen eine Reihe von allen Menschen gleichmässig erkannter Qualitäten: die süssen, saueren, bitteren (alkalischen?) Geschmäcke, welche wir den schmeckbaren Substanzen zuschreiben. Physikalisch sind diese Qualitäten der Empfindung ebensowenig definirbar wie die Geruchsempfindungen.

Die meisten schmeckenden Substanzen erregen nicht einfache Geschmacksempfindungen, sondern Mischempfindungen der verschiedenen Qualitäten, die wir aber hier viel schärfer zu trennen vermögen, als das bei den Mischempfindungen der übrigen Sinnesorgane gelingt. Wir schmecken deutlich die verschiedenen Qualitäten, aus denen sich der gemischte Geschmack zusammensetzt, heraus, so dass es kaum zweifelhaft sein kann, dass diese Mischempfindung hervorgerufen wird durch gleichzeitige Erregung verschiedener Endorgane, die sich erst im Centralorgane des Geschmackssinnes im Gehirn mischt.

Die gleichzeitigen Empfindungen im Geschmackssinn lassen eine so scharfe Erkennung und Trennung zu, dass wir unter Umständen mit der Zunge eine genauere chemische Analyse von Flüssigkeiten machen können als nach den

gebräuchlichen Methoden der Chemie, welche wägbare Mengen der zu bestimmenden Stoffe voraussetzen. Das »Kosten« der Apotheker, Wein- und Bierkenner ist bekannt, ebenso die Genauigkeit ihres Resultates, wenn sie das Geschmacksorgan genügend geübt haben.

Ein Theil der Empfindungen, welche gleichzeitig mit Geschmacksempfindungen entstehen, sind keine Geschmäcke, sondern theils Geruchs-, theils Tast- und Gemeingefühlsempfindungen. Der stechende oder zusammenziehende Geschmack gehört der letzteren Art an, die aromatische Geschmacksempfindung ist vorwiegend eine Geruchsempfindung, welche verschwindet, wenn man die Naseneingänge verstopft. Manche scheinbar intensive Geschmacksempfindungen setzen sich lediglich aus Tastempfindungen auf der Zunge und Geruchsempfindungen zusammen.

Die **Zungennerven** sind drei. Der Bewegung der Zunge steht der Hypoglossus vor, der Zungenast des N. glossopharyngeus ist der Geschmacksnerv wenigstens für den hinteren Abschnitt der Zunge. Die Zungenoberfläche innervirt der Zungenast des Lingualis Trigeminus, ein Theil seiner Fasern stammt vom Facialis (Chorda tympani). Der Lingualis erscheint als Tastnerv der Zunge, die Fasern der Chorda scheinen den Geschmackssinn der beiden vorderen Drittel der Zunge zu vermitteln. Dem entspricht, dass nach Durchschneidung des Glossopharyngeus nur die Zungenwurzel eine Geschmackslähmung zeigt, dass dagegen Zerstörung der beiden Chordae in der Trommelhöhle den Geschmack im Vordertheil der Zunge vernichtet; Reizung der Chordae veranlasst keine Zungenbewegung. Nach Durchschneidung des Lingualis ist der Tastsinn der Zunge gelähmt; krankhafte Affectionen der Trigeminuswurzeln sollen nur den Tastsinn, nicht den Geschmackssinn der Zunge alteriren. NEUMANN beobachtete Fälle von Facialislähmung mit Geschmackslähmung verbunden. Nach SCHIFF enthält auch der Lingualis »schmeckende« Fasern. Die maassgebenden Versuche über die Zungennerven rühren von PANIZZA, LONGET, BIFFI, LUSSANA, DUCHENNE, STICH u. A. her. Der Gefäss erweiternde Nerv für den vorderen Abschnitt der Zunge ist die Chorda tympani, für den hinteren Abschnitt der Glossopharyngeus (A. VULPIAN).

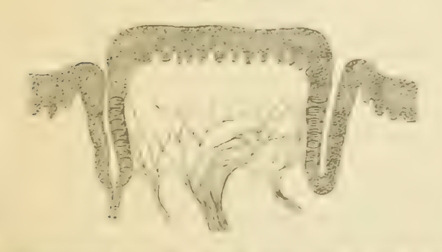
Das Geschmacksorgan.

Die tägliche Erfahrung lehrt uns, dass die Mundhöhle der Sitz des Geschmacksorganes ist: doch war bisher noch nicht mit aller Sicherheit entschieden, welche Stellen der Mundhöhle die eigentlich Geschmack empfindenden Endorgane tragen, die populäre Anschauung spricht für die Zunge und zwar in ihrer ganzen Ausdehnung: nach älteren Experimentaluntersuchungen, welche alle an dem Fehler litten, dass die auf eine Stelle der Mundschleimhaut angebrachten schmeckbaren Substanzen sich leicht an andere Stellen in der Mundflüssigkeit verbreiten können, wurde von einigen Autoren nur der Zungenrücken (BIDDER), von anderen auch die Zungenspitze, die Zungenränder, der weiche Gaumen, ja sogar der harte Gaumen angegeben. E. NEUMANN hat die electrische Geschmackserregung durch den konstanten Strom zur Prüfung der Mundtheile auf die Geschmacksfunctionen verwerthet. Legt man die zwei Electroden sehr nahe an einander, so wiegt stets der saure Geschmack vor. Man kann dadurch die Geschmacksempfindung scharf lokalisiren. NEUMANN u. A. fanden, dass die Zungenspitze, die Zungenränder und die Oberfläche der Zungenwurzel bis zu den Papillae circumvallatae mit Geschmack begabt sind (KLAATSCH.

STICH, SCHIRMER, DRIELSMA), dagegen zeigte sich als geschmacklos der vordere Theil der oberen Zungenfläche (cf. unten), die ganze untere Fläche und das Frenulum. Der schmeckende Rand beträgt mehrere Linien und greift weiter auf die Ober- als Unterfläche der Zunge über. Schwächere Geschmacksempfindungen vermittelt auch die Vorderfläche des weichen Gaumens, mit Ausnahme der Uvula, etwas stärkere der Arcus glossopalatinus.

Die Schleimhaut der Mundhöhle, welche an den Lippen direct mit der ausseren Haut zusammenhangt, ist relativ dick und durch reichliche Gefassverzweigungen gerothet. Sie trägt eine ziemliche Anzahl von Papillen, von kegel- oder fadenformiger Gestalt, die im Bau meist mit den Gefässpapillen der ausseren Haut ubereinstimmen. In der Mucosa bilden die Nerven ein weitmaschiges Netz von feinen und feinsten Aestchen, welche an manchen Stellen Nervenfasertheilungen zeigen. Nur in grosse Papillen konnte man bisher die Nerven verfolgen. An den Lippen finden sich in den Papillen zahlreiche Tastorgane (Endkolben). Das Epithel der Mundschleimhaut ist ein geschichtetes Pflasterepithel, dessen äusserste, platte, eckige Zellenblättchen aus runden, auf der Schleimhaut aufliegenden Zellen entstehen, ganz analog der Epidermis der Oberhaut. Die auf das Epithel einwirkenden äusseren Einflüsse bewirken eine beständige Abstossung der obersten Epithelschichten mit einer entsprechenden regelmässigen Neubildung der Zellen. Es sind also die Zellen, obwohl sie eine dicke Lage bilden, doch schon ihrer Jugend wegen noch weich und für chemisch auf sie wirkende Stoffe durchdringlich, so dass gelöste Substanzen relativ leichter eindringen, und von den Blut- und Lymphgefässen aufgesaugt werden können.

Fig. 245.



Durchschnitt durch eine Papilla circumvallata vom Kalb. Zeigt die Vertheilung der Geschmacksknospen. 25/1.

Fig. 246.



Zwei Papillae filiformes des Menschen, die eine mit Epithel, 350mal vergr. Nach TODD-BOWMAN. *p*, Papillen selbst. *a*, *v* Arterielles und venöses Gefäss der einen Papille sammt den Kapillarschlingen, die aber **in die secundären Papillen eingehen sollten**, *e* **Epi**thelialbekleidung, *f* Fortsätze derselben.

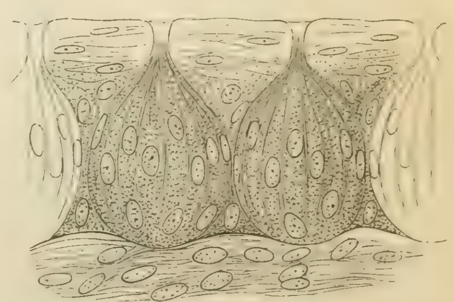
Der Reichthum an Nerven ist an den verschiedenen Stellen verschieden; besonders zeichnet sich das wenig empfindliche Zahnfleisch durch Mangel an Nerven aus.

Der Bau der Zungenschleimhaut weicht auf der oberen Fläche der Zunge ziemlich bedeutend ab von dem der übrigen Schleimhaut des Mundes. Erstere ist einestheils sehr fest mit dem unterliegenden Muskelfleische verbunden, andererseits trägt sie eine grosse Anzahl verschieden gestalteter Hervorragungen, die Zungenwärzchen oder Zun-

genpapillen. Auf dem Zungenrücken stehen die 6—12 Wallwärzchen, Papillae circumvallatae, welche jede aus einer den pilzförmigen Papillen ähnlichen, grossen Papille bestehen, umgeben von einem niedrigen, sie kreisförmig umschliessenden Walle (Fig. 245). Die Wallwärzchen bilden auf dem Zungenrücken eine V-förmige Figur, indem sie von dem Rande her in einer von vorn nach hinten verlaufenden Linie sich der Mitte des Zungenrückens nähern. Die übrigen Papillen der Zunge, die vor den Wallwärzchen stehen, sind ebenfalls ziemlich regelmässig in Reihen angeordnet, die im Allgemeinen der Wallwärzchenreihe gleich verlaufen. An den Zungenrändern werden die Papillen zu blattartig gezackten Falten; auf der Zungenoberfläche unterscheidet man ausser den genannten Wallwärzchen noch zwei weitere Arten von Wärzchen: die fadenförmigen und die pilzförmigen: Papillae filiformes und fungiformes. Die letzteren stehen zerstreut auf der ganzen Zungenoberfläche, besonders häufig an der Zungenspitze, sie ähneln einem Nagel mit dickem Kopfe. Die fadenförmigen Papillen (Fig. 246) füllen die Zwischenräume zwischen den übrigen Wärzchen aus und stehen sehr dicht neben einander, sie tragen pinselförmig auslaufende Enden. Gegen die Zungenränder zu werden sie spärlicher, kürzer und glatter, so dass sie sich den pilzförmigen Warzen im Aussehen annähern. Dem unbewaffneten Auge erscheinen die fadenförmigen Wärzchen weisslich, die beiden anderen Papillenarten röthlich. Die fadenförmigen Papillen bestehen aus einem kegelförmigen Schleimhautwärzchen, welches meist noch an seinem oberen Ende feine secundäre Wärzchen besitzt, jede mit fadenförmigen verhornten Epithelfortsätzen besetzt. Die pilzförmigen Papillen sind auf ihrer ganzen Oberfläche mit feinen secundären Wärzchen besetzt, die von einem weichen Epithellager überzogen und vollkommen verdeckt werden. Die Wallpapillen tragen nur auf der platten Oberfläche solche secundäre Wärzchen; der Wall ist eine Schleimhauterhebung, ebenfalls mit feinen Wärzchen besetzt. Die Verbreitung der Blutgefässe in den Papillen ist der in den Hautpapillen bekannten ganz ähnlich, zu jedem der feinen den grösseren Papillen aufgesetzten Wärzchen erhebt sich eine Kapillarschlinge.

Die Endigung der Geschmacksnerven hat in neuerer Zeit eine nähere Aufklärung erfahren. Die feineren Zweige des Glossopharyngeus, vorzugsweise aus dünnen markhaltigen Fasern bestehend, begeben sich zu den Papillae circumvallatae und verbreiten sich in denselben; im Stamme (Remak) sowie vor ihrem Eintritt in die Papillen zeigen sie mikroskopische Ganglienzellen. Direct unter der Papille bilden die Nerven ein Geflecht (Schwalbe), von welchem ein oder mehrere Bündel in die Papille eintreten, wo sie in vielfach sich durchkreuzende, aus blassen und dunkelrandigen Fasern bestehende, Zweige zerfallen, welche gegen das Epithel zu ausstrahlen. In der Nähe der eigentlichen Geschmacksorgane finden sich neben einzelnen markhaltigen Fasern feine Fibrillenbündel, mit einer kernhaltigen Scheide umgeben, welche sich in Aeste zertheilen, aus denen sich feine Fäserchen in das Epithel zu den Geschmacksorganen erheben, um wohl mit den specifischen Elementen der letzteren in Verbindung zu treten (Schwalbe).

Fig. 247.



Geschmacksknospen aus dem seitlichen Geschmacksorgan vom Kaninchen. 450/1.

Nach den übereinstimmenden Angaben von Lovén, Schwalbe, Wyss und

Engelmann finden sich die eigentlichen Geschmacksorgane bei dem Menschen namentlich in dem geschichteten Pflasterepithel der Papillae circumvallatae, auf Zweigen des N. glossopharyngeus als zahlreiche, mikroskopische Zellengruppen aufsitzend. Man bezeichnet letztere als Geschmacksknospen (Lovén, Engelmann) oder Schmeckbecher (Schwalbe) (Fig. 247). Sie liegen in flaschenförmigen Lücken des Gewebes beim Menschen 0,077 bis 0,081 mm lang und 0,04 mm dick, die enge Mündung der Flasche: Geschmacksporus (Engelmann) misst 0,0027—0,0045 mm (Schwalbe). Bei dem Menschen umziehen die Schmeckbecher vor Allem die seitlichen Flächen der Papillae circumvallatae oft zu vielen Hunderten in einer gürtelförmigen Zone. Auch an der der Papille zugekehrten Fläche des Ringwalls, sowie auf den pilzförmigen Papillen finden sich beim Menschen Schmeckbecher, ebenso in dem von Weber und Mayer als Papilla lingualis foliata bezeichneten faltigen Gebilde am Seitenrande der menschlichen Zunge (v. Ajtai). Arthur Hofmann fand sie auch auf grösseren Papillen des weichen Gaumens, namentlich über der Uvula. Bei dem Schaf berechnet Schwalbe ihre Zahl in einer Papille auf etwa 480, beim Rind auf 1800, beim Schwein finden sich auf jeder seiner beiden umwallten Papillen etwa 5000, bei dem Menschen stehen sie am dichtesten. Auch bei Thieren fand Hoenigschmied die Schmeckbecher vereinzelt auch auf der freien Fläche der Wallpapillen.

Der Boden der Knospenhöhle ruht direct auf dem Boden der Schleimhaut, seitlich wird ihre Wand von modificirten und verkitteten Epithelzellen gebildet. Die Geschmacksknospen selbst bestehen aus etwa 15—30 langen, dünnen Zellen, welche sich wie die Blätter einer Knospe an einander legen. Man unterscheidet Deckzellen, den Stützzellen bei den anderen Sinnesnervenenden analog, welche besonders die äusseren Schichten des Organes bilden, und die eigentlichen, wie man glaubt, mit den Fasern des Sinnesnerven zusammenhängenden Geschmackszellen. Die ersteren sind lang, spindelförmig, besonders gegen den Porus zu zugespitzt, mit einem ovalen, bläschenförmigen Kerne. Die Geschmackszellen (Fig. 248) bestehen aus dem, einen verhältnissmässig sehr grossen bläschenförmigen Kern einschliessenden Zellenkörper, der nach oben in einen mässig breiten, nach unten in einen feineren Fortsatz übergeht. Der erstere Fortsatz ist bei Kaninchen fast cylindrisch; auf seinem sich gegen die Spitze zu verschmälernden, gewöhnlich schräg abgestumpften äusseren Ende sitzt senkrecht ein Härchen oder Stiftchen auf, das die Oeffnung des Geschmacksporus zu erreichen scheint (Engelmann). Der untere Fortsatz ist dünner, theilt sich in ziemlich geringer Entfernung vom Kern meist in zwei Aeste, welche nicht selten erst nach mehrfacher Theilung die Schleimhautoberfläche auf dem Grund

Fig. 248.



a Isolirte Geschmackszellen aus den seitlichen Organen des Kaninchens. $^{600}/_{1}$. b Eine Geschmackszelle und zwei Deckzellen im Zusammenhang isolirt. Ebendaher. $^{600}/_{1}$.

des Bechers erreichen. Chemisch und mikroskopisch scheinen sie mit den feinsten an die Geschmacksknospen herantretenden Glossopharyngeusfibrillen übereinzustimmen, so dass man sie als die Verbindungsstücke mit jenen zu betrachten pflegt, doch scheint der wirkliche Zusammenhang bis jetzt noch nicht festgestellt.

Zur vergleichenden Anatomie. — Bei den Säugern ist das Verhalten der Geschmacksorgane im Allgemeinen dem beim Menschen beschriebenen ganz analog. Bei dem Kaninchen und Hasen findet sich ausser den Wallpapillen noch ein specifisches Geschmacksorgan grösserer Art. An jeder Seite der Zungenwurzel liegt nämlich eine grosse, ovale, durch etwa 10—14 tiefe, parallele Querfurchen in schmale Leisten getheilte Erhabenheit mit tausenden von Geschmacksknospen (H. v. Wyss, Engelmann). Bei den Fischen nennt man die in der Mundschleimhaut und im Epithel der äusseren Haut eingelagerten Geschmacksorgane, welche im Wesentlichen mit denen der Säuger übereinstimmen (F. E. Schulze), becherförmige Organe (Leydig). Aus dem Schleimhaut- oder Cutisgewebe erheben sich in das Epithel nervenführende Papillen, auf ihrer etwas ausgehöhlten Endfläche sitzt dann je ein becherförmiges Organ. Die Deckzellen und Geschmackzellen dieser Organe stimmen mit denen der Säuger überein. Bei den Fischen hat also, was für im Wasser lebende Thiere zweckmässig erscheint, der Geschmackssinn nicht nur in der Mundhöhle, sondern auch in der Körperhaut seinen Sitz. Bei den Rochen (Trygon pastinaca, Raja clavata) beschreibt Franz Todaro die Geschmacksorgane in ganz analoger Weise wie bei den Säugern; sie finden sich auf zwei Querfalten der Gaumenschleimhaut hinter der Zahnreihe der Oberkiefer und in 9—10 langen cylindrischen Papillen des Zungenrudiments. Bei den Fröschen (Axel Key, Engelmann) sind die Geschmacksorgane nicht becherförmig, sondern scheibenförmig gestaltet: Geschmacksscheiben, sie sitzen auf der Oberfläche einer Papilla fungiformis. Die specifische Zellengruppe wird von Flimmerzellen eingerahmt. Als Deckzellen (Stützzellen) fungiren cylindrische Zellformen, welche Engelmann in eigentliche Cylinderzellen und in Kelchzellen unterscheidet, die Geschmackszellen zeigen nach aussen nicht nur einen, sondern mehrere zinkenförmig aus dem Zellkörper entspringende Fortsätze, es sind das die Gabelzellen Engelmann's. Der innere Fortsatz stimmt ziemlich mit dem der Geschmackszellen der Säuger überein.

Bei Vögeln und Reptilien sind die Geschmacksorgane noch wenig erforscht, besser bei Wirbellosen. Die becherförmigen »Augen« der Hirudineen stimmen mit Schmeckbechern in ihrem Bau annähernd zusammen (Leydig) und dienen ausser Tast- und Sehfunktionen auch dem Geschmackssinn, es sind Uebergangssinnesorgane (J. Ranke); ausserdem ist noch der ganze Körper mit einfachen Schmeckbechern besetzt. Nach H. Eisig sind die becherförmigen Organe der Capitelliden, in Röhren lebender mariner Gliederwürmer als Geschmacksorgane, nicht als Tastorgane zu denken, sie stimmen mit den becherförmigen Organen der Fische in Bau und Verbreitung über den Körper überein. Die Entwickelungsgeschichte der eigentlichen Geschmacksorgane der Wirbelthiere ist noch wenig erforscht, beim Embryo scheinen sie zahlreicher zu sein. (A. Hofmann).

Tastempfindung der Zunge. — In der Zungenschleimhaut ist die Empfindung von Geschmäcken und eine scharfe Gemeingefühlsempfindung, Tasten, Temperaturempfindung vereinigt. Die Tastempfindung ist an der Zungenspitze am feinsten, hier fand E. Geber wahre Tastkörperchen. Aus der nachbarlichen Vereinigung verschiedener Empfindungsorgane resultirt die häufig auftretende Schwierigkeit, die Geschmacksempfindungen von anderen gleichzeitigen sensiblen Eindrücken zu scheiden.

Geschmacksempfindungen.

Der innere Vorgang der Erregung der Geschmacksnervenendigungen ist seinem Wesen nach unbekannt. Welche innere Uebereinstimmung haben

Stoffe, wie Zucker, Glycerin, Glycin, Bleisalze, welche süss schmecken? Was hat das bitterschmeckende Chinin oder Strychnin mit dem Bittersalz gemein?

Man dachte an electrische Strömungsvorgänge zwischen der Mundflüssigkeit und dem schmeckbaren Stoff. Es lässt sich nicht leugnen, dass diese Anschauungsweise etwas Verlockendes besitzt, da es einestheils sicher ist, dass zwischen dem alkalischen Mundsafte und den sauren oder auch anderen Flüssigkeiten electrische Strömungen entstehen, andererseits der electrische Strom als ein starker Erreger der Geschmacksnerven seit alter Zeit durch die Untersuchungen von Volta, Pfaff, Ritter etc. bekannt ist. Liegt die positive Electrode an der Zungenspitze, die negative an einer anderen Körperstelle an, so tritt ein saurer, im umgekehrten Fall ein laugenartiger Geschmack auf, den electrolytischen Produkten an den Electroden entsprechend. J. Rosenthal hat nachgewiesen, dass diese elektrische Geschmacksempfindung sauer am positiven, alkalisch am negativen Pole auch bei Anwendung sogenannter unpolarisirbaren Electroden eintritt, man hat aber auch bei diesem Versuche an die Abscheidung electrolytischer Produkte an der Grenze ungleichartiger feuchter Leiter zu denken. Als Haupteigenschaft bedürfen, wie schon angegeben, die schmeckbaren Substanzen das Vermögen, sich in Wasser oder den Mundflüssigkeiten zu lösen. Auch Gase können sich in ihnen lösen und dann geschmeckt werden, z. B. schwefelige Säure. Die Löslichkeit eines Stoffes in Wasser ist aber kein Maass für seine Schmeckbarkeit; manche sehr leicht lösliche Stoffe sind trotzdem wenig, manche andere, die wenig löslich sind, stark schmeckend. Nach Valentin's Versuchen ergibt sich eine Reihe für verschieden schmeckbare Stoffe, in welcher das folgende Glied noch in einer stärkeren Verdünnung geschmeckt werden kann als das vorhergehende: Syrup, Zucker, Kochsalz, Aloeextract, Chinin, Schwefelsäure. Zu einer ähnlichen Reihenfolge kam Cammerer.

Je nach dem Concentrationsgrade der Lösung wächst für ein und dieselbe Substanz die Intensität der durch sie hervorgerufenen Geschmacksempfindung; ebenso mit der Grösse der Berührungsfläche und der Dauer der Einwirkung. Auch durch stärkeres Einreiben der schmeckenden Substanzen in die Zungenschleimhaut wird die Intensität des Geschmacks vermehrt. Doch ist das Unterscheidungsvermögen für verschiedene Concentrationsgrade der schmeckbaren Körper im Allgemeinen gering. Es wächst anfangs mit zunehmender Concentration und nimmt dann wieder ab (Keppler). Die Geltung des psychophysischen Gesetzes ist für die Geschmacksreize noch nicht erwiesen. Bei sehr concentrirter (schmerzhafter) Einwirkung schmeckbarer Stoffe treten eigenthümliche Geschmackstäuschungen auf, so schmeckt z. B. concentrirte Kalilauge sehr intensiv sauer (J. Ranke). Nach der Einwirkung des Schmeckstoffes auf die Geschmacksorgane verfliesst ein kleiner Zeitraum bis zum Eintritt der Geschmacksempfindung. Am raschesten erfolgt die letztere beim Salzigen, dann folgt Süss, Sauer, Bitter (Schirmer).

Verschiedene Momente stumpfen die Feinheit des Geschmackes ab, es genügt dazu schon Trockenheit der Zunge, noch mehr entzündliche Veränderungen ihrer Schleimhaut; ebenso sehr intensive Geschmackseindrücke, die die Geschmacksnerven ermüden, auch Kälte und höhere Wärmegrade.

Einige Substanzen hinterlassen nach ihrem Verschlucken einen lang-

dauernden Nachgeschmack, der wohl meist in restirenden Partikelchen der schmeckbaren Substanz in der Schleimhaut der Zunge, manchmal vielleicht auch in Erregung der Geschmacksnerven vom Blute aus seinen Grund hat. Zu letzterer Annahme hält man sich durch die Erfahrung berechtigt, dass Nachgeschmäcke nach dem Verschlucken von vollkommen umhüllten Pillen beobachtet werden.

Bei dem Geschmacke sind noch andere deutliche Nachempfindungen zu beobachten, das Schmecken einer Substanz verändert den Geschmack einer anderen. Der Geschmack des Käses erhöht den für Wein, der des Süssen verdirbt ihn. Nach dem Kauen von Kalmuswurzel schmeckte J. Müller Kaffee und Milch säuerlich. Der starke Geschmack der Säuren kann durch Zucker, auch durch Kochsalz für unsere Empfindung gemässigt, weniger lästig gemacht werden. Wissenschaftlich ist es noch nicht gelungen, diese Consonanzen und Dissonanzen der verschiedenen Geschmäcke aufzufinden; die Receptirkunst und die Kochkunst haben ihre Harmonielehre der Geschmäcke, auf welcher nach beiden Richtungen die Anwendung der Corrigentia beruht, ebenso praktisch entwickelt, wie es die Malerei und Musik gethan hat. Auch subjektive Geschmäcke sind beobachtet.

Nach mehrfachen Angaben soll den verschiedenen Theilen der Mundhöhle eine specifische Empfindlichkeit für verschieden schmeckende Körper zukommen. Bittere Stoffe sollen z. B. mehr auf den Zungenrücken als auf die Ränder der Zunge und die Zungenspitze wirken. Die Zunge gibt uns durch diese Lokalisirung der Qualitäten ihrer Sinnesempfindungen an bestimmte anatomisch getrennte Punkte, trotzdem dass im Uebrigen bei diesem Sinnesorgane die Erforschung noch wenig geleistet hat, doch einige Anhaltspunkte für die Beurtheilung der Wahrnehmungen durch die übrigen Sinnesorgane. Wir können uns die angeführte Eigenthümlichkeit, ihre Bestätigung vorausgesetzt, doch nur so deuten, dass diesen verschiedenen lokalisirten Qualitätenempfindungen verschiedene Sinnesendapparate entsprechen. Ja es scheint sogar bei der Zunge, dass diese verschiedenen Qualitätenempfindungen verschiedenen Nerven zugehören. Doch ist der Glossopharyngeus jedenfalls der Hauptgeschmacksnerv, der Empfindung des Bitteren steht er nach den Versuchen von Stannius jedenfalls allein vor. Nach einseitiger totaler Trigeminuslähmung sah man die Empfindung für süss und sauer auf der gelähmten Seite herabgesetzt, doch ist dieses Resultat nicht konstant.

Die Geschmacksnerven stehen in reflektorischer Beziehung zu den Speicheldrüsennerven (cf. diese).

Leydig's sechster Sinn.

Bei den Fischen finden sich allgemein verbreitet, am Kopf mehrreihig angeordnet, dann einreihig jederseits von der Kiemenspalte bis zur Schwanzflosse an der Körperseite hinlaufende, die Schuppen durchbrechende Poren: die Seitenlinie, die zu einem System selten kürzerer, meist verzweigter Gänge führen, welche man früher allgemein als schleimabsondernde Drüsen ansprach. Leydig entdeckte in diesem Seitenorgan den Sitz eines sechsten, für das

Leben im Wasser berechneten Sinnes, der sich seiner Ansicht nach am nächsten dem Tastsinn anschliesst. In die Wandungen der mit Epithel ausgekleideten Gänge treten überall Zweige des Nervus lateralis ein und endigen hier in eigenthümlichen knopfartigen Anschwellungen nach Art eines Sinnesepithels. Diese Nervenknöpfe sind Hügel der Cutis mit specifisch umgeformter epithelialer Bekleidung, im Centrum zeigen sie birnförmige Sinneszellen, welche nach oben in ein feines starres Haar, nach unten in einen varicösen Axencylinderfortsatz auslaufen (F. Leydig, F. E. Schulze). F. E. Schulze stimmt mit Leydig in der Anerkennung des sechsten Sinnes überein, er findet hinsichtlich der Art der Nervenendigungen eine gewisse Aehnlichkeit mit dem Gehörorgan, das, wie wir sahen, in Bau und Functionen den Organen des Tastsinnes am nächsten steht; F. E. Schulze sieht in den Organen des sechsten Sinnes einen Sinnesapparat, geeignet zur Wahrnehmung von Massenbewegungen des Wassers gegen den Fischkörper oder des letzteren gegen die umgebende Flüssigkeit; die normale Erregung erfolgt durch gröbere, durch das Wasser fortgeleitete Stosswellen mit längerer Schwingungsdauer, als sie den das Gehörorgan afficirenden Wellen zukommt. Experimentelle Untersuchungen über die Functionirung der Seitenorgane haben bis jetzt noch zu keinen entscheidenden Resultaten geführt.

Die Verbreitung dieser oder ganz analoger Organe ist ausser bei allen Fischen bei verschiedenen Wasserthieren nachgewiesen: bei den im Wasser lebenden Formen der Amphibien (F. E. Schulze), insbesondere im Larvenzustand, z. B. Salamanderlarven, aber freiliegend, nicht von Kanälen umschlossen, dann in den Follikeln des Zitterrochens (Savi), bei Gliederwürmern (Capitelliden (H. Eisig). Wahrscheinlich functioniren bei anderen Thieren ähnliche Organe, z. B. die Borstenhaare an der Haut der Fischsäuger für denselben Sinn, vielleicht auch die (Riechstäbchen) oder die Hensen'schen Hörhaare (cf. oben S. 937) der im Wasser lebenden Crustaceen etc.

Physiologie der nervösen Centralorgane.

Sechsundzwanzigstes Capitel.

I. Rückenmark und Gehirn.

Grösse und allgemeine Ausbildung des Gehirns.

Mit voller Uebereinstimmung spricht sich die moderne Wissenschaft dahin aus, dass bei dem Menschen und den höheren Wirbelthieren der Sitz des Bewusstseins und aller höheren geistigen Eigenschaften in das Gehirn, und zwar vorwiegend in die graue Rinde des Grosshirns verlegt werden müsse. Bei niederen Wirbelthieren haben sich die Meinungen noch nicht vollkommen abgeklärt. Man hat bei den letzteren Experimente, welche zu dem Schlusse benutzt wurden, dass nach Abtrennung des Gehirns das Bewusstsein noch nicht vollkommen verloren sei. Man spricht in diesem Sinne von einer: »Rückenmarksseele«, indem man bei niederen Wirbelthieren dem Rückenmark ein gewisses Bewusstsein zuschreibt. Diese Anschauungen gründen sich vor allem auf die hohe Zweckmässigkeit der nach dem Abtrennen des Gehirns bei diesen Thieren noch eintretenden Reflexbewegungen, welche z. Th. den Charakter des Ueberlegten, des Praemeditirten zu haben scheinen. Wir werden unten diese höchst merkwürdigen Erscheinungen vorführen. Hier wollen wir vorläufig bemerken, dass Zweckmässigkeit der Handlung noch kein Beweis dafür ist, dass die Handlung mit Bewusstsein erfolgte. Im normalen Zustande ist sich der Mensch seiner Handlungen und der Zweckmässigkeit derselben bewusst. Indem wir die Welt um uns anthropomorphosiren, sind wir geneigt, bei zweckmässigen Handlungen der Thiere auch diesen stets ein Bewusstsein von denselben zuzuschreiben. Aber wir werden sehen, dass auch bei dem Menschen zweckmässige Handlungen, welche meist mit Bewusstsein erfolgen, ohne Bewusstsein eintreten können, dass das Bewusstsein zu ihrem Zustandekommen nicht erforderlich ist. Die Betrachtung der Reflexe zeigt uns weiter, dass in Nervenbahnen, welche während des unversehrten Lebens öfter erregt wurden, die Reflexerregung leichter eintritt. Ja es scheint, dass diese Verminderung der Widerstände auf oft betretenen Reflexbahnen sich von Individuum zu Individuum vererben kann (Darwin). Im unversehrten Leben auf bestimmte Reize oftmals erfolgte Bewegungen werden sonach auch nach dem Entfernen des Gehirns einfach reflektorisch leichter eintreten als andere im

Leben ungewohnte Bewegungen, und es kann solchen Bewegungen daher auch aus diesem Grunde noch ein gewisser Schein, ein Rest von Ueberlegung anhaften. Unbestreitbare Beweise von dem Vorhandensein einer Rückenmarksseele sind bisher auch für die niederen Wirbelthiere noch nicht erbracht.

Andererseits sind wir über den allgemeinen Satz, dass bei dem Menschen und den höheren Säugethieren der Sitz der höheren psychischen Thätigkeiten das Gehirn sei, bisher nur wenig hinaus gekommen. Vergleichen wir die Gehirne der Wirbelthiere in aufsteigender Reihe mit dem des Menschen, so erkennen wir, dass mit der steigenden psychischen Entwickelung nicht nur eine Zunahme der Gehirngrösse, sondern auch eine ansteigende Ausbildung des Gehirns annähernd Schritt hält. Die Gehirne aller Wirbelthiere sind sich in der embryonalen Anlage ähnlich, aber während das Gehirn der niedersten Wirbelthiere, der Fische und Amphibien, auf einer den höher entwickelten Gehirnen gegenüber gleichsam embryonalen Bildungsstufe stehen bleibt, sehen wir das Gehirn in der zum Menschen aufsteigenden Reihe der höheren Wirbelthiere in immer höherem Maasse und namentlich in Beziehung auf das Grossgehirn von dem embryonalen Zustande sich entfernen. Diese höhere oder geringere Ausbildung des Gesammtgehirns lässt sich jedoch nicht einfach dadurch ziffermässig konstatiren, dass man das Gesammtgehirngewicht mit dem Gesammtkörpergewicht der animalen Wesen in Proportion setzt. Der Mensch, das psychisch höchst entwickelte Wesen der animalen Reihe, hat in dieser weder das absolut noch relativ zum Körpergewicht grösste Gehirngewicht. Nicht einmal in derselben Species, z. B. bei dem Menschen, dürfen wir aus der wechselnden Relation von Gehirn- und Körpergewicht einen Schluss auf höhere oder niedrigere psychische Begabung wagen. Innerhalb der Breite vollkommener Gesundheit kann ja das Körpergewicht bei gleich grossen Erwachsenen des gleichen Geschlechts um mehr als das Doppelte verschieden sein. Man hat darum vorgeschlagen, die Proportionalität zwischen Körperlänge und Gehirngewicht als Maass anzunehmen. Das scheint aber festzustehen, dass bei Gesundheit des Gehirns geistig höher begabte Menschen öfter ein höheres Gehirngewicht zeigten als minder begabte.

Nicht alle Theile des Gehirns sind für die höheren psychischen Thätigkeiten von gleicher Bedeutung. Alle Beobachtungen weisen darauf hin, dass das G r o s s h i r n, und zwar vor allem seine graue, vorwiegend Ganglienzellen führende H i r n r i n d e als Organ der höheren psychischen Thätigkeiten: Wille, Empfindung, Vorstellung, Bewusstsein, Selbstbewusstsein, angesprochen werden müsse. Je mehr sich die geistigen Fähigkeiten in der Thierreihe entwickeln, desto mehr überwiegt die Ausbildung des Grosshirns die der übrigen Gehirnabschnitte. Sein relatives Gewicht zu den übrigen Hirntheilen, die Tiefe und Zahl seiner Windungen zeigen sich bei den anthropoiden Affen höher ausgebildet als bei irgend welchen anderen Säugethieren, am höchsten finden wir die Ausbildung des Grosshirns in beiden Richtungen bei dem Menschen. Mit der Zahl und Tiefe der Windungen und Furchen der Grosshirnoberfläche nimmt die Oberfläche und Masse der grauen Rindensubstanz entsprechend zu. Die Gehirne geistvoller, psychisch und intellectuell hochbegabter Menschen fand man vielfach nicht nur im Ganzen voluminöser entwickelt, sondern namentlich auch in Beziehung auf die Grosshirnhemisphären. Auch die Windungen der letzteren erschienen

zahlreicher und mannigfaltiger angeordnet, die Furchen tiefer. Die, freilich bis jetzt noch wenig ausreichenden Beobachtungen zu einer vergleichenden Gehirnanatomie der Menschenrassen scheinen dabei mit aller Entschiedenheit darauf hinzuweisen, dass die Ausbildung des Gesammthirns, namentlich aber seiner grossen Hemisphären, bei der Mehrzahl der Angehörigen der alten Kulturrassen im Allgemeinen und im Einzelnen eine vollkommenere sei, als bei Mitgliedern uncivilisirter oder halbcivilisirter Völker. Für die Lokalisirung der höheren psychischen Begabung in der Grosshirnrinde spricht auch die tägliche Erfahrung der Aerzte. Bei durch krankhafte Processe erworbener oder angeborener extremer Kleinheit oder Entartung beider Hemisphären des Grosshirns, namentlich aber bei Störungen in dem anatomischen und physiologischen Verhalten seiner Oberfläche findet sich Beeinträchtigung der psychischen Thätigkeiten: Blödsinn, Irrsinn oder Bewusstlosigkeit, Sopor, abnorme psychische Erregung. Ein normales psychisches Verhalten beruht auf normaler Ausbildung und normaler vegetativer Functionirung (Ernährung etc.) des Grosshirns und seiner Rinde; höhere psychische Begabung scheint eine höhere, namentlich auch numerisch gesteigerte Entwickelung der in der grauen Hirnrinde gelegenen Einzelcentren nervöser Thätigkeit, der Ganglienzellen, vorauszusetzen, wie sie bei relativer Vergrösserung der Oberfläche des Grosshirns durch zahlreichere und verwickeltere Windungen und tiefere Furchen gegeben ist. Meynert erklärt (cf. unten) die Fläche der grauen Hirnrinde für das Projectionsfeld, in welches die Eindrücke von allen centripetal leitenden nervösen Bahnen her endlich einstrahlen, in die verschiedensten Wechselbeziehungen treten, um von da aus zum Theil wieder auf centrifugal leitende Bahnen zur Hervorrufung von Bewegungen übertragen zu werden. In diese Vorgänge in der Hirnrinde schieben sich, anders als bei den eigentlichen unten zu besprechenden Reflexen, welche vollkommen unbewusst ablaufen können und meist wirklich unbewusst ablaufen, gleichsam als Zwischenglieder zwischen die mechanischen Thätigkeiten der Reizübertragung von der sensiblen auf die motorische Sphäre, bewusste Empfindungen ein, zu deren Auslösung das Vorhandensein und das normale anatomisch-physiologische Verhalten der Ganglienzellen der grauen Rinde des Grosshirns unentbehrlich erscheinen. Von den Reflexen unterscheiden sich diese Vorgänge in der Rinde des Grosshirns unter anderem auch dadurch, dass die durch äussere Einwirkungen dort hervorgerufenen Erregungszustände trotz hoher (genügender) Reizstärke nicht sofort Bewegung der motorischen Sphäre hervorbringen müssen. Es kann sich eine Summe verschiedenartiger und ungleichzeitiger bewusster, sensibler Eindrücke dort gleichsam aufspeichern, um entweder niemals oder nach Ablauf verschieden langer Zeiten in »willkürlicher« Folge motorische Thätigkeiten zu veranlassen.

Zur vergleichenden Physiologie. — Um die höhere Entwickelung des Gehirns in der aufsteigenden Thierreihe zu konstatiren, hat man vielseitig vergleichende Bestimmungen der Hirngewichte angestellt, sowohl absolute als relative in Vergleichung mit dem Gesammtkörpergewicht. Beide Methoden können im Einzelnen kein genaues Bild geben. Absolut ist das Walfischgehirn und das Elephantengehirn schwerer als das des Menschen: eine Vergleichung mit dem Gesammtkörpergewicht aber weist dem psychisch hochbegabten Elephanten (wie dem Walfisch) eine relativ viel zu tiefe Stellung ein. Umgekehrt ist es bei den Gehirnen der Singvögel. Man hat auch die wahre Grösse der Oberfläche der Hemisphären zu

bestimmen gesucht, d. h. die Oberfläche ihrer grauen Substanz, deren Einfaltungen man sich hierbei alle in eine Fläche ausgebreitet denkt. Wie oben schon angedeutet, gibt diese Methode nicht einmal bei dem Menschen zweifellose Resultate, bei Thieren (Wiederkauern), welche nicht durch ihre Intelligenzentwickelung berühmt sind, sehen wir die Hirnwindungen verhältnissmässig gut entwickelt, während sie bei niederen Affen, dem Hund, dem Biber u. a. psychisch höherstehenden Thieren eine weit geringere Entwickelung zeigen. MEYNERT fusst bei seinen Hirnvergleichungen auf JOHANNES MÜLLER, der als Maassstab für die relative Hirnentwickelung die Hemisphären des Grosshirns mit dem Corpus quadrigeminum vergleicht. MEYNERT zeigte, indem er Durchschnitte durch Menschengehirne in der Höhe der Vierhügel mit analogen Durchschnitten von Säugethiergehirnen verglich, dass, im Zusammenhang mit der steigenden Entwickelung der Hemisphären, bei dem erwachsenen Menschen die Masse des Fusses der Grosshirnschenkel die Masse der Haube der Grosshirnschenkel beträchtlich überwiegt, während das umgekehrte Verhältniss für die Säugethiere gilt. Auch bei neugeborenen Menschen ist der Fuss des Hirnschenkels noch schmächtig entwickelt. Bei den Thieren ist ebenfalls der Fuss in seiner relativen Ausbildung zur Haube verschieden je nach der grösseren oder geringeren Ausbildung der Hemisphären des Grosshirns. Die Fasern des Fusses der Hirnschenkel treten in die Brücke ein, diese wird mit der stärkeren Entwickelung des Fusses höher; von hier gelangen sie in die Pyramiden des verlängerten Marks. Beim Menschen drängen daher die massigen Pyramiden die Oliven, welche bei den Säugethieren hinter den dünnen Pyramiden liegen, zur Seite (cf. d. folg. Abschnitt.

Schema des feineren Gehirnbaues.

Die modernen physiologischen Anschauungen über den Faserverlauf im Gehirn und das Verhältniss der Fasern zu den Ganglienzellen der grauen Gehirnsubstanz basiren vorzugsweise auf den Untersuchungen und der zusammenfassenden Darstellung des bisher Erforschten durch MEYNERT. Wir müssen uns hier auf die Wiedergabe von MEYNERT's schematischer Beschreibung des feineren Gehirnbaues beschränken.

MEYNERT sieht den Bauplan des Gehirns und seiner verwickelten Bahnen auf drei physiologischen Grundgedanken basiren. Erstens besitzt jede Nervenzelle als functionelles Attribut die Empfindlichkeit, welche unter begünstigenden Umständen (bei dem Menschen in den Ganglienzellen der Grosshirnrinde) zur Grundlage thatsächlicher Empfindungen werden kann. MEYNERT hält es für unnöthig, der Ganglienzelle (Centralzelle) noch weitere Grundeigenschaften, etwa die eines motorischen Princips zuzuschreiben. Motorisches Organ ist nur der Muskel, dessen Erregung erfolgt, wenn der Erregungszustand der Nervenzelle, der mit dem Vorgang der Empfindungserregung eins sein kann, gleichgültig wie und wann (S. 963), Bahnen findet, um Muskelkräfte auszulösen. Den zweiten Grundgedanken findet MEYNERT in dem BELL'schen Gesetz ausgesprochen, dahin erweitert, dass, unbeirrt durch die Vermehrung und Gliederung in den zwischen den Faserverlauf im Gehirn und Rückenmark eingeschalteten grauen Massen, die centripetal und centrifugal leitenden Faserbahnen bis in die obersten Centren der Gehirnorganisation eindringen, resp. hier entspringen. Die dritte der Gehirnfunctionirung zu Grunde liegende physiologische Thatsache ist die durchgreifende Herrschaft des Gesetzes der isolirten Leitung, welches auch noch in der grauen Substanz, trotz des Zusammenhangs ihrer Ganglienzellen untereinander, seine Geltung in weiter Ausdehnung behauptet.

Bei einem Ueberblick der Hauptlinien des Gehirnbaues haben

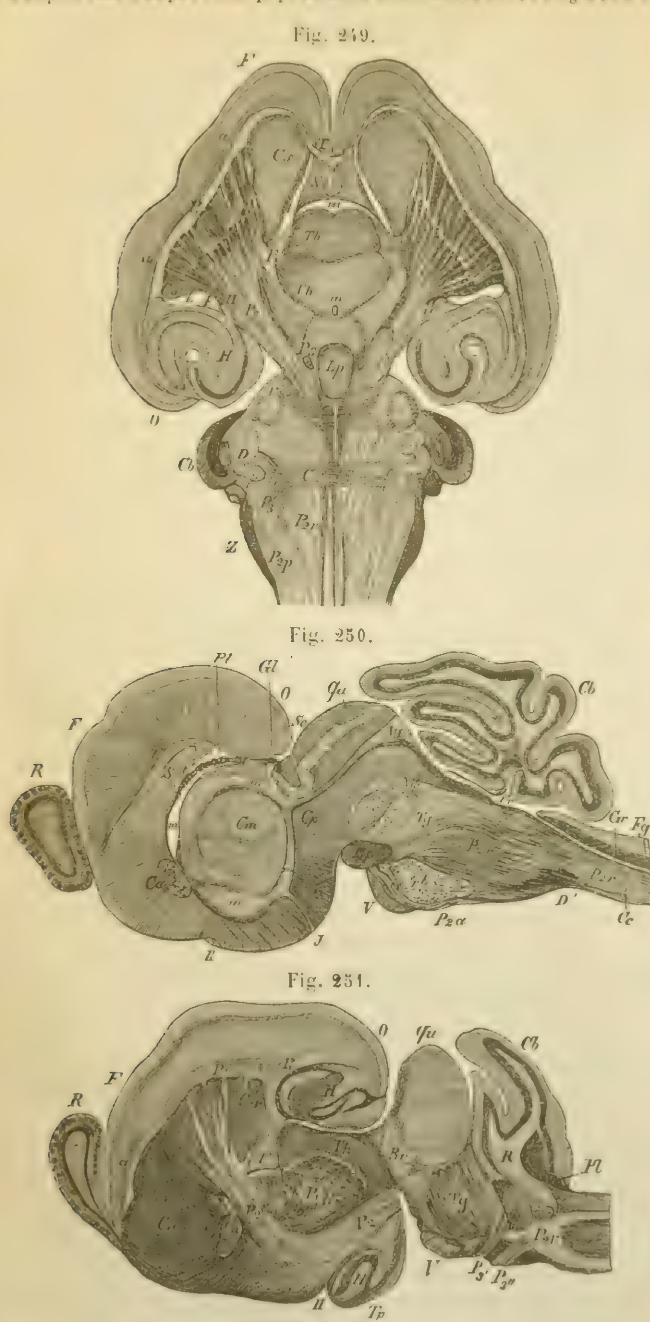
wir vor allem unser Augenmerk auf den Zusammenhang der Ganglienzellenanhäufungen der grauen mit den Faserzügen der weissen Substanz zu richten.

Die Ganglienzellen gliedern sich im Gehirn in vier Kategorien grauer Anhäufungen. Die oberste Masse, welche die gesammten Nervenfasern des Gehirnmarks aus sich entspringen lässt, ist die Grosshirnrinde, das flächenhafte Grau der Grosshirnhemisphäre. Die Nervenzellen der Gehirnganglien (Gall) bilden das zweite oder Gangliengrau. Das dritte oder centrale Höhlengrau überkleidet als bleibender Ausdruck der entwickelungsgeschichtlichen Grundform des Gehirns vom Tuber cinereum bis zum Conus medullaris die Innenfläche des einstigen Hirnrückenmarkscanals. Die graue Substanz des Kleinhirns, das Kleinhirngrau, findet sich theils in flächenhafter Verbreitung, theils in zerstreuten Zellenformationen; zu ihm gehören einerseits die oberflächlichen und tiefen grauen Massen des Kleinhirns selbst, andererseits die graue Substanz innerhalb der vom Kleinhirnmark durchflochtenen Abschnitte des Grosshirnstammes.

Alle Leitungsbahnen des Gehirns entspringen oder enden in den unzählbaren Nervenzellen der Grosshirnrinde, welche nach Meynert's Ausdruck wie eine Mütze die gesammte Gehirnoberfläche überkleidet. Das aus den Ganglienzellen der Hirnrinde hervorgehende Convolut motorischer und sensitiver Fasern muss grossentheils das Hinterhauptloch passiren, um die Körperorgane zu erreichen. Die Nervenfasern ordnen sich hierbei zu einer strahlenförmigen Convergenz, welche im Hirnstamm und Rückenmark immer gegen das centrale Höhlengrau gewendet ist. Erst nachdem die centralen Nervenfäden das Höhlengrau durchsetzt haben, verlaufen sie divergirend, das periphere Nervensystem bildend, zu den Körperorganen. Durch diese Organisation ist der Contact der die Empfindung vermittelnden Hohlkugel der Grosshirnrinde mit den Sinnesorganen und dem Gesammtkörper und durch diesen mit der Aussenwelt vermittelt. Die Erregungen der Sinnesnerven, gleichsam die Bilder der Aussenwelt, projiciren sich in die Hirnrinde. Den grossen Abschnitt des Nervensystems, Fasern mehrfach durch graue Masse unterbrochen, welcher diesem Projectionsvorgang dient, bezeichnet Meynert als das Projectionssystem (Fig. 249, P_1, P_2, P_3); die Grosshirnrinde nennt er Projectionsfläche; die Aussenwelt resp. die durch sie (oder innere Ursachen) gesetzten Veränderungen in unserem peripheren Nervensystem das Projicirte. Auch die Muskulatur des eigenen Körpers und alle aus inneren Ursachen empfindlichen Organe gehören zu dem Projicirten.

Das Projectionssystem (Fig. 249 (I.) P_1, P_2, P_3) gliedert sich in drei Hauptabschnitte. Das obere Glied (P_1, P_1' und *Br*) erscheint als ein im Allgemeinen radiäres, von der Grosshirnrinde entspringendes Fasersystem, welches sich peripherisch zunächst in das Gangliengrau (*cs*, *Th*, *Qu*) einsenkt. Aus diesem, aus den Hirnganglien, welche unterbrechende Knotenpunkte für den Faserlauf darstellen, geht als zweites Glied des Projectionssystems (P_2) das Hirnschenkelsystem hervor, welches sich mit dem centralen Höhlengrau verbindet. Aus letzterem entspringt dann das dritte Glied des Projectionssystems (P_3), welches alle jene Fasern umfasst, die aus dem centralen Höhlengrau hervorkommen, von dem Ursprungsbett des dritten Gehirnnervenpaares im Grau des Aquaeductus Sylvii an bis zu den Ursprungskernen des untersten Steissnerven im Rückenmark.

Fig. 249, 250 und 251. **Ein horizontaler und zwei sagittale Längsabschnitte durch das Gehirn von Vespertilio pipistrella zur Versinnlichung der Grundzüge des Gehirnbaues.**



Gemeinsame Bezeichnungen. *F* der Stirntheil, *O* der Hinterhauptheil, *Tp* der Schlafentheil des Grosshirnlappens oder Vorderhirnes. *R* **der Riechlappen.** ***S*** **die durchsichtige Scheidewand.** — *H* der Gyrus hippocampi mit *f*, dem Gewölbe. *T* der Balken. *aa* Fibrae propriae der Grosshirnrinde (Associationsbündel). *L* Vorder- und Hinterhorn des Seitenventrikels. — *Cs* *Cs* Ganglienmasse des **Vorderhirnes (Streifenhügel** und Linsenkern). — *Th* Ganglienmasse des Zwischenhirnes (Sehhügel). — P_1 oberes Glied des Projectionssystems **für die Ganglienmasse des** Vorderhirnes. P_1' oberes Glied **des Projectionssystems für die Ganglienmasse des** Zwischenhirnes, wozu auch *f* **(das Gewölbe) zu rechnen ist.** ***Qu*** **die Ganglienmasse des** Mittelhirnes (Vierhügel). — ***Br*** **oberes Glied des Projectionssystems für das Mittelhirn (Vierhügelarm).** ***Lp*** **die mediale Basis des Mittelhirnes** (Lam. perf. posterior). P_2 **mittleres Glied des Projectionssystems** aus den Ganglien des Vorderhirnes (Fuss des **Hinterschenkels, in Fig. 251** abgeschnitten wegen der **Neigung seines weiteren Verlaufes nach der Mittellinie, in Fig. 250** P_2a **durch die Brücke** fortgesetzt). — *Tg* das mitt**lere Glied des Projections**systems aus den **Ganglien**massen des Zwischenhirnes **und Mittelhirnes (Haube des Hirnschenkels). VIII das hintere Längsbündel der Haube.** *Ca* die vordere Commissur. — *Cm* die weiche Commissur der Sehhügel. — *m* das centrale Hohlengrau des Zwischenhirnes (3. Ventrikel). — *J* der Trichter. *Ag* das centrale Hohlengrau des Mittelhirnes **(um die Wasserleitung),** ***Gl*** **die Zirbel. —** ***Cp*** **die hintere** Commissur. — *Sc* der Querschlitz des grossen Gehirnes. — *Pl* Plexus chorioideus. — *Cb* das kleine Gehirn. — *R* der Strickkörper. *V* die Varolsbrücke. — P_2a die Pyramidenbahn (Fortsetzung des Hirnschenkelfusses). — P_2r die Fortsetzung der Bahn der Haube im Projectionssystem der Brücke und Oblongata. — *Rb* Massendurchschnitt der Kleinhirnquerbündel. —

In den Grosshirnhemisphären finden sich, ausser den Fasern des ersten Gliedes des Projectionssystems noch drei weitere Fasersysteme, von denen vor allem die Balkenfasern und die Bogenfasern hervortreten. In dreifacher Weise ist durch diese Fasersysteme, innerhalb der Grosshirnhemisphäre, abgesehen von dem Projectionssysteme eine Verbindung verschiedener Rindenabschnitte unter sich vermittelt. Die Bündel der Balkenfasern (Fig. 249 u. 250 *T*) vereinigen die identischen Rindengebiete beider Grosshirnhemisphären. Die differenten Rindengebiete der letzteren hängen unter einander — abgesehen von den Verbindungen durch das graue Fasernetz der Fortsatzanastomosen der Ganglienzellen — durch die Bogenfasern, Fibrae arcuatae s. propriae, Meynert's Associationssystem, zusammen, welche (Fig. 249 u. 251 *aa*) eine die Innenfläche der Rinde continuirlich begleitende Schicht, bestehend aus Bündeln von längerem und kürzerem Verlauf, darstellen. Ausserdem finden sich im Mark des Grosshirns noch Bündel, welche auf eine Verbindung der Grosshirnrinde mit der Kleinhirnrinde hinzielen, die sich im Bindearm zu einer gesonderten, in der Brückenregion oberflächlich liegenden Formation sammeln.

Indem die Fasern des Projectionssystems in ihrem Verlauf von der Grosshirnoberfläche zu den Organen die Unterbrechungsmassen der oben genannten, unter der Grosshirnrinde gelegenen grauen Substanzen durchsetzen, findet (abgesehen von dem centralen Höhlengrau, bei welchem das gegentheilige Verhältniss eintritt) eine Reduction in der Faserzahl statt. In bedeutender Mächtigkeit, grösstentheils in der Form des Stabkranzes, tritt das erste Glied des Projectionssystems in die graue Substanz der Grosshirnganglien ein, und vermindert sich von da aus allmälig bis auf den unansehnlichen Umfang der Rückenmarksstränge, und zwar nimmt bei dieser Reduction nicht nur die allgemeine Fasersumme, sondern auch die Zahl der besonderen Verlaufsbündel ab, die sich innerhalb des Projectionssystems unterscheiden lassen.

Das erste Glied des Projectionssystems (P_1) sendet an der Eintrittsstelle in die Grosshirnganglien zu jedem der grauen Herde der letzteren eine besondere, abgegrenzte Fasermasse. Fig. 249—251 zeigen von diesen besonderen Massen die Einstrahlungsmassen (P_1) in den Streifenhügel und den Linsenkern (*Cs*), dann (P_1' und *Br*) die Einstrahlungsmassen in den Sehhügel (*Th*) und Vierhügel (*Qu*); *f* bezeichnet das Gewölbe, das Projectionsbündel der Rinde für den vorderen Höcker des Sehhügels. Diese Vielheit der Endigungsbahnen des ersten Gliedes des Projectionssystems, ist nach dem Austritt der Fasern aus den Ganglienmassen im zweiten Glied des Projectionssystems, dem Hirnschenkel, auf nur noch zwei gesonderte Bahnen, auf eine vordere und eine hintere Bahn des Hirnstammes: den Fuss des Hirnschenkels (Fig. 249 und 251 P_2) und die Haube des Hirnschenkels (Fig. 250 und 251 *Tg*), reducirt. Diese setzen sich in die vordere (Fig. 250 P_1 *a*) und die hintere Abtheilung (Fig. 249, 250, 251 $P_2 r$) der Brücke und der Medulla oblongata fort und gehen endlich als Markmantel des Rückenmarks in ein morphologisch einheitliches Gebilde über.

Z der Durschschnitt des Stratum zonale. — *D* die oberen Oliven. *C* anscheinende Commissur der oberen Oliven. — *D'* die untere Olive. — *Fr* das centrale Höhlengrau im Gebiete des Hinterhirnes und Nachhirnes als Rautengrube. — *Gr* das centrale Höhlengrau im Gebiete des Nachhirnes und Rückenmarkes um den Centralcanal (*Cc*). — *Fg* der zarte Strang — P_3 das untere Glied des Projectionssystems in Fig. 249, im Gebiete des Mittelhirnes als Nervus oculomotorius, im Gebiete des Nachhirnes als Nervus facialis, in Fig. 251 P_3' Quintus. P_3'' Facialis. II. Nervus opticus.

Die physiologische Bedeutung der Einschaltung von Ganglienzellen in den Faserverlauf im Centralnervensystem, erkennt Meynert darin, dass die Schaltzellen ausser der zwar gegliederten, aber geraden Fortführung einer centripetalen oder centrifugalen Leitung noch Umbeugung nach Centren hin vermitteln, die seitlich von der directen (geraden) Fortpflanzungsrichtung des Projectionssystems gelegen sind. Als Beispiel führt Meynert die durch pathologisch-anatomische Erfahrung bewiesene centrifugale Leitungsbahn an, welche aus der Grosshirnrinde durch Streifenhügel und Linsenkern, Hirnschenkelfuss, Brücke und Pyramide des verlängerten Marks zu den vorderen Rückenmarkswurzeln gelangt (Fig. 249 und 251 P_1, Cs, P_2; Fig. 250 P_2a). Der über seinem Eintritt in die Brücke noch relativ mächtige Hirnschenkelfuss wird dadurch auf die viel dünnere Pyramide, die seine directe Fortsetzung im Projectionssystem darstellt, reducirt, dass ein grosser Theil seiner Fasern durch den Brückenarm in das Kleinhirn umbiegt und so die Bahn des Projectionssystems verlässt. Die Zahl der aus der Grosshirnrinde z. B. in den Linsenkern einstrahlenden Fasern wird hier also durch die Verbindung mit den Ganglienzellen nicht nur absolut vermindert, der Rest vertheilt sich nach dem Austritt auch auf zwei sich trennende Bahnen, von denen die eine zum Kleinhirn und nur die andere zum Rückenmark gelangt.

Für die Physiologie des Gehirns von höchster Bedeutung ist die erwähnte Entdeckung Meynert's, dass sich im Hirnschenkel das aus den Gehirnganglien austretende Projectionssystem auf nur zwei Bahnen: Fuss und Haube, zu reduciren beginnt, deren physiologische Bedeutung festgestellt werden konnte. Meynert trennt die dem Hirnschenkel Faserbahnen zusendenden Ganglien in Ganglien des Fusses, vor allem den geschwänzten Kern und den Linsenkern, und Ganglien der Haube, vorzüglich Sehhügel, Vierhügel und den inneren Kniehöcker. Die Massenentwickelung des Hirnschenkelfusses und seiner Ganglien zeigt sich von der Massenentwickelung der Hirnschenkelhaube mit ihren Ganglien, wenn wir die Gehirne der verschiedenen Säugethiere mit dem des Menschen, oder das Gehirn des Neugeborenen mit dem des erwachsenen Menschen vergleichen, in auffallender und vollkommen charakteristischer Weise verschieden. Die Haube des Hirnschenkels mit ihren Ganglien, in erster Linie Vierhügel und innerer Kniehöcker, ist bei Thieren im Verhältniss zum Hirnschenkelfuss und seinen Ganglien um so massiger entwickelt, je geringer die relative Massenentwickelung der Grosshirnhemisphären ist. Die Figuren 249, 250, 251 zeigen dementsprechend die relativ äusserst dürftige Entwickelung der Bahn des Fusses (P_2, P_2a) zu der der Haube (Tg u. P_2r) bei dem Gehirn der Fledermaus, im Zusammenhang mit der geringen Entwickelung der Grosshirnhemisphären. Dagegen steigt und fällt die Massenentwickelung des Hirnschenkelfusses und seiner Ganglien mit der Massenentwickelung der Grosshirnhemisphären, sodass der Mensch z. B. den am mächtigsten entwickelten Linsenkern und den massigsten Hirnschenkelfuss besitzt. Bei dem Neugeborenen zeigt sich der Fuss des Hirnschenkels geringer entwickelt, als bei dem Erwachsenen.

Für die physiologische Deutung dieses wechselnden Verhältnisses der Entwickelung der Haube und des Fusses beruft sich Meynert, ausser dem dargelegten anatomischen Ergebnisse, auf zwei pathologisch-physiologische Grund-

erfahrungen. Die Zerstörung der Ganglien des Hirnschenkelfusses setzt volle Hemiplegie, die Willkürbewegungen sind dadurch für die entsprechende Seite vollkommen aufgehoben; dagegen gehen die Reflexbewegungen auf äussere Reize noch vollkommen ungestört vor sich, wenn die gesammten oberen Partien des Grosshirns bis auf die Ganglien der Haube experimentell bei Thieren abgetragen werden. Diese Erfahrungen zwingen zu der Voraussetzung, dass die Organe des Thierkörpers in zweimaliger Projection: einmal durch den Fuss, einmal durch die Haube im Gehirn vertreten, dabei aber nur durch den Fuss des Hirnschenkels in Abhängigkeit von dem Leben der Grosshirnhemisphären gesetzt sind. Die durch die Haube geleitete Bahn ist die allgemeine Reflexbahn, welche ungestört bestehen kann, wenn die durch den Fuss geleitete Willkürbahn ausgeschaltet, oder wie bei dem Neugeborenen noch nicht functionell entwickelt ist. Diese Lehren Meynert's bilden die wesentlichste Grundlage für alle weiteren Forschungen in der Gehirnphysiologie und physiologischen Psychologie.

Das centrale Höhlengrau haben wir oben ausgeschlossen aus der Gruppe jener Ganglienmassen, welche eine Reduction der von der Grosshirnrinde zu den Organen verlaufenden Nervenfasern hervorbringen: es ist im Gegentheil ein Centrum für reichliche Vermehrung der Fasern. Dieses Verhalten spricht sich namentlich in der Thatsache aus, dass die Faseranzahl der vom Rückenmark entspringenden Nervenwurzeln die Faseranzahl der Rückenmarksstränge bedeutend übertrifft. Das centrale Höhlengrau Fig. 250 beginnt in der Region des Zwischenhirns als Bekleidung der durch die mittlere Commissur (*Cm*) ringförmigen Höhle des III. Ventrikels (*m*), die sich in das Lumen des Trichters (*J*) fortsetzt. Im Mittelhirn umgibt es den Aquaeductus (*Aq*), breitet sich im Hinterhirn als Rautengrube (*Fr*) aus, und schliesst in der unteren Hälfte der Oblongata, sowie im Rückenmark (*Gr*) den Centralkanal (*Cc*) ein. Wie im Rückenmark entspringen auch die das dritte Glied des Projectionssystems repräsentirenden Hirnwurzeln (Fig. 249 und 251, P_3) mit einer reicheren Fasersumme aus dem centralen Höhlengrau, als mit der sie im Hirnschenkel repräsentirt sind.

Die Lokalisirung der Functionen der Grosshirnrinde.

Die Erfahrung, dass das Centralorgan der Empfindung, das Gehirn, wenigstens an der Oberfläche der grossen Hemisphären unempfindlich sei, ist eines der ältesten Vivisectionsergebnisse, welches auch für den Menschen bei Kopfverletzungen, die das Schädeldach durchdrangen und das Gehirn bloslegten, stets bestätigt werden konnte. Die hippokratische Schule liess sich sogar durch den missverstandenen Augenschein an der dem natürlichen Gefühle so naheliegenden Ansicht von der Bedeutung des Gehirns — Hauptes — als Centrum der Bewegung und Empfindung, welche von einigen alten Philosophen gelehrt worden war, ganz irre machen. Man sah in dem Gehirne nichts als einen weissen schwammartigen, drüsigen Theil — es wird in den hippokratischen Schriften unter den Drüsen abgehandelt — und glaubte es vorzüglich dazu bestimmt, die Feuchtigkeit des Leibes an sich zu ziehen. »Wie kann«, sagt Aristoteles in seinem Buch über die Theile der Thiere, »das Gehirn der Sitz der

empfindenden Seele sein, da es ja keine Gemeinschaft hat mit den Theilen, welche empfinden (dies waren ihm die fleischartigen), und da es selber, wenn es berührt wird, kein Gefühl zeigt.« Von Aristoteles stammt übrigens die Angabe, dass der Mensch unter allen Thieren das grösste Gehirn habe. Doch sind nicht alle Theile des Gehirns unempfindlich. Schmerz erregt z. B. die Reizung des Bodens des vierten Ventrikels, des verlängerten Marks, der Grosshirnschenkel, der Vierhügel, der zur Brücke gehenden Schenkel des kleinen Gehirns, der Ursprungsstelle des Trigeminus.

Mit erneuter Energie hat sich in dem letzten Jahrzehnt die Untersuchung der Frage über die Functionirung des Grosshirns, namentlich auch bezüglich der höchsten psychischen Functionen zugewendet. Durch Beobachtungen der Erfolge pathologischer und experimenteller Hirnläsionen und Reizungen suchte man die Thätigkeit des Grosshirns im Allgemeinen und die seiner einzelnen Theile festzustellen. Noch immer sind die Ansichten getheilt, es ist aber nicht zu verkennen, dass namentlich in Folge der Anregung, welche diese Untersuchungen durch Hitzig und Fritsch erhalten haben, die Antwort auf die einschlägigen Fragen, in welchen sich Physiologie und Psychologie direct berühren, eine bestimmtere Fassung gewinnt.

Es stehen sich zwei wissenschaftliche Meinungen gegenüber, welche sich beide auf Ergebnisse des Experiments und der Beobachtung berufen können. Die Mehrzahl der wissenschaftlichen Thatsachen schien bisher dafür zu sprechen, dass jeder Theil des Grosshirns, resp. seiner graue Ganglienzellen enthaltenden Rindensubstanz in gleichartiger Weise für die Bethätigung der höheren Seelenthätigkeiten functionire, sodass lediglich je nach ihrer verschiedenen Grösse die einzelnen Grosshirnabschnitte sich mehr oder weniger an dem Gesammterfolg betheiligen würden.

Man hatte beobachtet, dass eine durch pathologische Processe beim Menschen oder durch das Experiment bei Thieren erfolgte functionelle Ausschaltung, Abtragung und Entfernung von Grosshirnabschnitten nicht ausnahmslos und mit Nothwendigkeit bestimmte und dauernde Veränderungen hervorbringe. Es schien, als könnten die nach krankhafter Zerstörung oder nach Abtragung noch vorhandenen unverletzten Hirntheile die Function der ausgeschalteten übernehmen. Es wurde konstatirt, dass angeborene oder pathologisch erworbene abnorme Kleinheit einer Grosshirnhälfte nicht wie die doppelseitige nothwendig, oder wenigstens nicht dauernd mit Störungen in der motorischen, sensiblen oder psychischen Sphäre verknüpft sei. Vielfach vermisst man solche Störungen bei namentlich langsam ausgebildeten Defecten oder Erkrankungen grösserer oder kleinerer Partien einer Hemisphäre. In Flourens' u. A., namentlich Hertwig's Experimenten wurde das grosse Gehirn scheibenweise abgetragen, einmal von vorn nach hinten, ein anderes Mal von hinten nach vorn, ein drittes Mal von aussen nach innen. Die Operation schien vollkommen wirkungslos zu bleiben, wenn Flourens von einer beliebigen Partie des Grosshirns eine geringe Menge von Substanz entfernte; nahm er dagegen an irgend einer Stelle ein grösseres Stück fort, so wurden, wie er angiebt, Bewegungs- wie Sinnesfunctionen gleichmässig, und bei Wegnahme gleichgrosser Stücke in gleichem Grade geschwächt. Bei einer gewissen Maximalgrösse der ausgeschalteten Hirnmasse verschwand mit einem Mal der gesammte, bis dahin noch be-

stehende Rest der Grosshirnfunctionen. Der übrig gebliebene Gehirntheil konnte dann aber trotzdem noch genügen, um nach wenig Tagen die gesammte Functionirung wieder herzustellen. Analoge Resultate gaben die Versuche von GOLTZ, bei welchen grössere und kleinere Grosshirnabschnitte ausser Function gesetzt wurden. BROWN-SÉQUARD folgert aus seinen und FLOURENS' u. A. eben angeführten Experimenten im Zusammenhang mit den Sectionsergebnissen bei Menschen nach Gehirnleiden, dass zwar jede Grosshirnfunction von bestimmten Organtheilen abhängig sei, dass letztere für bestimmte Functionen, aber nicht in umschriebenen Bezirken beisammen liegen, sondern, an Ganglienzellen gebunden, durch das ganze Grosshirn zerstreut seien. Die functionell gleichwerthigen Ganglienzellen stehen seiner Ansicht nach durch associirende Fasern mit einander in Verbindung und bilden auf diese Weise zwar ein Ganzes, aber, wenn nicht alle, so doch viele Hirntheile enthalten den verschiedenen Functionen vorstehende Elemente.

So wohl begründet diese Meinung der psycho-physischen Gleichwerthigkeit der gesammten Grosshirnrinde erscheinen mag, so konnte sie doch die entgegenstehende Annahme nicht entkräften, welche in der Rinde des Grosshirns und ihren einzelnen Abschnitten einen Complex functionell verschiedener Apparate, welche an verschiedenen Stellen der Gehirnoberfläche lokalisirt seien, erkennen will. Immer zahlreichere Beobachtungen vereinigen sich, um dieser zweiten Hypothese das wissenschaftliche Uebergewicht über die erstere zu verschaffen.

Zuerst sind es vornehmlich pathologisch-anatomische Erfahrungen, welche man gegen FLOURENS anführen kann. Wenn auch langsam ausgebildete Läsionen einer Grosshirnhemisphäre oftmals ohne bemerkbare Functionsstörungen verlaufen, so beobachtet man doch, dass sogar viel geringer ausgedehnte, aber plötzlich entstandene, einseitige pathologische Grosshirnverletzungen oder Reizungen lokalisirte Symptomencomplexe, und zwar halbseitige Bewegungs- und Empfindungslähmungen: Hemiplegie hervorriefen. Diese Functionsstörungen pflegen meist insofern gekreuzt aufzutreten, als Läsion der einen Grosshirnhemisphäre Lähmungen auf der entgegengesetzten Körperhälfte hervorruft, ein Verhalten, welches man auf die Kreuzung der Fasern im Gehirn und namentlich in den Pyramiden, die Pyramidenkreuzung bezieht. Letztere sollte fehlen, wenn die Hemiplegie nach dem Sectionsergebniss gleichseitig aufgetreten war. Ein Verschwinden der Lähmungserscheinungen ohne Rückbildung der Läsion, die sie primär verursacht hatte, liess sich daraus erklären, dass durch halbseitige Erregung des Gehirns, in Folge der functionellen Verknüpfung beider Grosshirnhälften, beide Körperseiten innervirt werden können, eine Annahme, welche durch das Experiment und pathologische Beobachtung (cf. unten) Bestätigung zu finden scheint. Aus dem gleichen Grunde erklärt es sich, dass durch die pathologische Läsion einer umschriebenen Stelle des Grosshirns beiderseitige Lähmungs- oder Reizungserscheinungen auftreten können. Auch BROWN-SÉQUARD's Angaben kommen hier in Betracht; nach diesen führt unter Umständen Zerstörung bestimmter Gehirntheile nicht allein zum Verlust der an dieselben gebundenen Functionen, sondern kann auch in die Ferne hin einen Reiz ausüben, der die Thätigkeit anscheinend unverletzter Gebiete für kürzere oder längere Zeit vollkommen oder theilweise aufhebt. Analog ist die

Bemerkung Bernhard's, dass nur bei schwachen pathologischen (wie experimentellen) Reizungen die einer bestimmten Hirnstelle eigenthümliche Reaction auftritt, während stärkere Reize eine Verbreitung auf andere nicht direct getroffene Bezirke, und in Folge davon allgemeine Functionsstörungen hervorrufen. Doch noch viel weiter ging man in Beziehung auf die Lokalisation der Grosshirnfunctionen.

Der merkwürdige Symptomencomplex der Aphasie z. B. sollte nach Broca's kritischer Zusammenstellung der Sectionsbefunde durch meist einseitige Läsion einer ganz umschriebenen Grosshirnstelle hervorgerufen werden. Kranke, die an Aphasie leiden, sind ohne bemerkbare Störung der Intelligenz und oft ohne Verlust der allgemeinen Bewegungsfähigkeit der Zunge nicht im Stande zu sprechen, während sie das Sprechen der Umgebung verstehen und sich durch Zeichensprache und Schrift (cf. unten) verständlich machen können. Vergleichende Untersuchung »normaler« Thier- und Menschengehirne und letzterer unter sich scheinen der grauen Substanz der vorderen seitlichen Gehirnabschnitte, namentlich der Insel und den sie umlagernden Windungen eine hohe Bedeutung für die Möglichkeit der Intelligenzentwickelung zuzusprechen. Broca verlegte in die der Insel nächste (seine III.) Stirnwindung den Sitz des Sprechvermögens, indem er anführt, dass bei Aphasischen die Section relativ häufig krankhafte Zerstörungen (Extravasat, Erweichung etc.) dieser Stirnwindung selbst oder ihrer nächsten Umgebung finde; nach Meynert ruft Degeneration der Insel und der Vormauer Aphasie hervor. Auch für andere ganz bestimmte Functionsstörungen (cf. unten) wollte man intra vitam die Läsionscentren im Gehirn, wenigstens mit Wahrscheinlichkeit bestimmen können.

Bei diesem ungelösten Zwiespalt der Meinungen brachten die Untersuchungen von Hitzig und Fritsch, an welche sich zunächst die von Ferrier u. v. A. anschlossen, neues Beweismaterial für die Lokalisationstheorie. Bei Reizung der Grosshirnoberfläche mit electrischen Strömen zeigt sich diese nur in ganz umschriebenen Stellen motorisch erregbar, in sofern als sich nur von diesen Stellen aus eine Bewegung der gegenüberliegenden Körper- und Gesichtshälfte des Thieres hervorrufen lässt; Reizung aller anderen Theile der Grosshirnoberfläche mit Strömen derselben Intensität bringt keine Bewegungen hervor. Die erhaltenen Reizeffecte konnte Hitzig innerhalb einer bestimmten Oberflächenzone der grossen Hemisphäre lokalisiren. Bei Affen liegen die Reizpunkte sämmtlich in einer Windung, welche nach Hitzig dem Gyrus präcentralis des Menschen entspricht, beim Hund und bei der Katze finden sie sich in zwei Gyris des Vorderhirns. Fig. 252 ist das Gehirn von Cercopithecus, Fig. 253 vom Hund. In beiden Figuren ist 1 Reizpunkt für die hintere, 2 für die vordere Extremität, 3 für die Augenmuskeln und den Facialis, 4 für die Fresswerkzeuge. Bringt man Verletzungen von geringer Ausdehnung und Tiefe in jener Windung an, welche die Reizpunkte für die Extremitäten enthält, so entstehen Störungen in der Muskelinnervation der gegenüberliegenden Körperhälfte. Verletzt man aber irgend einen anderen Theil der Oberfläche des Grosshirns in genau gleicher Weise, so kann man keine Störung der Muskelinnervation nachweisen. Ferrier fand das Centrum für die Fressbewegungen auf, von dem aus fast jeder wirksame electrische Reiz mit doppel-

seitigen Bewegungen beantwortet wird, zum Beweis einer bilateralen Innervation von einer Reizstelle des Grosshirns aus. Ausserdem wurden Centren für die Bewegungen der Rumpfmuskeln und des Schwanzes an der

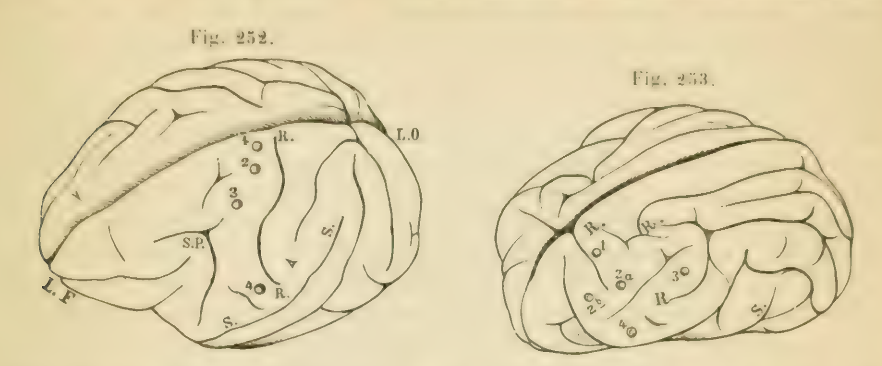


Fig. 252. Fig. 253.

Grosshirnoberfläche nachgewiesen. Die Gehirnoberfläche von Vögeln fand Ferrier nirgends motorisch erregbar. Zu bemerken ist noch weiter, dass es bis jetzt noch nicht gelungen, durch mechanische und chemische Reize die Grosshirncentren regelmässig in Aktion zu bringen. Die Bewegungsstörungen, welche durch Verletzung oder Abtragung der motorischen Grosshirncentren hervorgerufen werden, sind keine eigentlichen Paralysen, die Thiere können ihre Glieder noch bewegen. Daraus erklärt es sich, dass frühere Experimentatoren, z. B., Flourens die motorische Veränderung übersehen konnten. Die Bewegungen der verletzten Thiere zeigen aber, dass sie nur noch ein mangelhaftes Bewusstsein von den Zuständen des betroffenen Gliedes besitzen, und die Fähigkeit, sich vollkommene Vorstellungen über dasselbe zu bilden, ihnen abhanden gekommen ist. Wenn der im »Centrum für die Extremitäten« verstümmelte Hund auf einem Tisch geht, so tritt er mit dem kranken Bein ins Leere und fällt vom Tisch, obwohl er nachweislich nicht blind ist. Wenn er vor einer horizontalen Leiste herumläuft, so stösst er sich mit dem kranken Bein daran, obwohl er sie sieht. Die Hunde benehmen sich mit ihrer kranken Pfote so, als wenn alle äusseren Zustände, einmal die der Muskeln, dann die der Objecte des Raums vom Sensorium für die Bewegungen des kranken Gliedes, aber nur für diese, nicht in Rechnung gestellt werden (Hitzig).

Die geschilderten Versuchsergebnisse konnten von der überwiegenden Mehrzahl der nachprüfenden Experimentatoren bestätigt werden. Bezüglich der Deutung derselben herrscht noch Differenz der Meinungen. Hitzig und Fritsch, Ferrier u. v. A. halten sich für berechtigt, die motorischen Punkte der Grosshirnoberfläche als psycho-motorische Centren anzusprechen, nicht reflektorisch, wie Schiff meint, sondern direct durch Willensacte soll von diesen Stellen aus die Erregung eintreten können. Dass auch noch nach Abtragung der grauen Substanz stärkere (François-Frank und Pitres) electrische Reizung der weissen Hirnmasse analoge Bewegungen hervorrufe, hatte schon Hitzig bemerkt und mit Recht darauf bezogen, dass eine Reizung der Leitungsbahn hier wie im gesammten Nervensystem den gleichen Erfolg habe, wie die Erregung des centralen Reizorgans. François-Frank und Pitres konnten die be-

treffenden Leitungsbahnen in die Tiefe der weissen Substanz verfolgen. Die Behauptung, dass nach wenig Tagen der Erfolg der einseitigen Ausschneidung der psycho-motorischen Hirncentren wieder verschwinde, beruht wohl meist darauf, dass diese nicht vollständig exstirpirt waren; wenn nach längerer Zeit die Heilung des Zustandes eintritt, so lässt sich das zunächst erklären aus der oben dargelegten Möglichkeit einer doppelseitigen Innervation von jeder der beiden Hemisphären aus. Eine wichtige Stütze hat die Annahme des psycho-motorischen Charakters der Centren durch die Beobachtungen Soltmann's an neugeborenen Hunden erhalten. Er fand, dass in den ersten Tagen nach der Geburt, obwohl die Thiere dann schon vielfache Bewegungen ausführen, die sämmtlichen Reizeffecte von der Oberfläche des Grosshirns aus fehlen. Erst am 10. oder 11. Lebenstage erscheinen Zuckungen in der Vorderpfote, und erst mit dem 16. Tage treten die Erfolge der Reizung wie bei dem erwachsenen Thiere ein. Ebenso konnte er in den ersten Lebenstagen bei neugeborenen Hunden die motorischen Hirncentren ausschneiden, ohne irgendwie merkbare Schädigung des Bewegungsvermögens. Die innere Kapsel, die Ausstrahlung des Hirnschenkels fand Soltmann dagegen auch bei Neugeborenen schon erregbar. Soltmann beruft sich für die Deutung seiner Resultate auf die oben dargelegten anatomischen Beobachtungen Meynert's. Letzterer findet, dass im Hirnschenkel zweierlei getrennt verlaufende motorische Bahnen für die gesammte Muskulatur sich finden (cf. oben S. 968). Die eine dieser Bahnen, welche in der Haube verläuft, ist bei Neugeborenen bereits gut entwickelt. Ihre Fasern stehen von den grossen Hirnganglien (Sehhügel, Vierhügel, innerer Kniehöcker) aus durch eine Seitenbahn mit den Sinnesnerven in Verbindung, wir haben sie nach der obigen Darstellung als eine Reflexbahn aufzufassen. Die andere, im Fuss des Hirnschenkels verlaufende Bahn, welche Meynert als die Bahn der Willkürbewegungen anspricht, ist beim Neugeborenen noch gering entwickelt. Die Beobachtungen Flechsig's u. A. ergaben, dass bei Neugeborenen (Menschen) die anatomische Ausbildung der Faserung des Centralnervensystems noch sehr unvollkommen ist. Soltmann erklärt daher die Wirkungslosigkeit der Reize und der Abtragung an der Oberfläche des Grosshirns der Neugeborenen (Hunde) daraus, dass die Bahnen für die Leitung der nervösen Impulse von den motorischen Centren der Hirnoberfläche nach dem Hirnschenkel hin noch nicht vollständig ausgebildet sind, die bei und bald nach der Geburt vorhandenen Bewegungen der Neugeborenen erscheinen danach als reine Reflexbewegungen, bis zu einem gewissen Grade denen »enthirnter« Thiere (cf. unten Reflexe) entsprechend.

Die Beobachtungen über psycho-motorische Centren riefen eine Reihe weiterer über andere lokalisirte Functionen der Grosshirnoberfläche hervor. H. Munk findet an der Grosshirnrinde psycho-sensorische Regionen. Exstirpation scharfbegrenzter Rindentheile des Hinterhauptslappens ruft Seelenblindheit, des Schläfenlappens Seelentaubheit, nach L. Luciani und A. Tamburini wahre Blindheit und Taubheit hervor. Die sensorielle Region der Grosshirnoberfläche liegt im Allgemeinen hinter der motorischen. Bei Seelenblindheit findet Munk die Erinnerungsbilder der Gesichtsempfindungen, bei Seelentaubheit die der Gehörsempfindungen verloren. Bleiben die Thiere am Leben, so bildet sich nach unvollständiger Exstirpation innerhalb 4—6 Wochen

dieser abnorme Zustand zurück, die Thiere lernen wie Neugeborene wieder sehen und hören. Bei von Geburt an einseitig blinden oder tauben Thieren sind die betreffenden physiologisch nicht functionirenden sensoriellen Partien der Hirnoberfläche schwächer, dagegen die functionirenden stärker entwickelt.

Nach oberflächlichen lokalisirten Grosshirnverletzungen treten oft erhebliche Temperatursteigerungen der gegenüberliegenden Extremitäten ein (Lépine, Eulenburg und Landois, Hitzig u. A.). Der Erfolg wird erklärt durch die Annahme von vasomotorischen, in der Rindenoberfläche des Gehirns gelegenen, auch die Herzbewegung beeinflussenden Apparaten (A. v. Bezold u. A.), z. Th. die Endorgane der im Pedunculus cerebri verlaufenden Gefässnerven. Nach Danilewsky liegt ein den Blutdruck steigerndes Centrum bei Thieren im »suprasylvischen Gyrus« der Hirnrinde. Man will diesen vasomotorischen Centren einerseits die Function der Uebertragung psychischer Einflüsse auf die vasomotorischen Bahnen zuschreiben, andererseits sollen sie dem Bewusstwerden lokaler Temperatur- und Circulationsveränderungen durch Vermittelung »associatorischer Rindensysteme« dienen.

(Ueber die Functionen der Grosshirnganglien cf. unten den Abschnitt über coordinirte Bewegungen.)

P. Albertoni nennt eine durch mechanische und schwache electrische Reize erregbare Stelle der Grosshirnrinde bei Hunden und Katzen (hinter dem Sulcus cruciatus) epileptogene Zone, da von hier aus wohlcharakterisirte epileptische Anfälle der entgegengesetzten Körperhälfte ausgelöst werden können (Meynert's Angabe cfr. unten bei Coordinirte Bewegungen). Von derselben Stelle aus kann die Speichelsekretion der Unterkieferdrüse lebhaft vermehrt werden.

Chemische Reize, auf die Dura mater über den motorischen Hirncentren angebracht, sollen letztere (cf. oben S. 973) erregen.

Bei Fröschen löst Reizung des Grosshirns Bewegung der Glieder, bei Fischen solche des Schwanzes und des Kopfes aus (Ferrier). O. Langendorff beobachtete auf einseitige Grosshirnreizung bei Fröschen Bewegungen der Extremitäten an der der Reizstelle entgegengesetzten Körperhälfte. Derselbe bestimmte mit L. Kraezoff die Zeit, welche verstreicht vom Moment der electrischen Reizung im Gehirn bis zum Austritt der Erregung aus dem Rückenmark in den Plexus sacralis, zu 0,0360—0,0375 Sekunden; davon nimmt die Zeit für die Leitung im Rückenmark 0,0173, die im Gehirn also 0,02 Sekunden in Anspruch, was gegen den einfach reflektorischen Character (Schiff) der Erregung spricht. (cf. oben Leitung der Erregung im Nerven und unten Reflexe).

François-Frank und Pitres treten für den centralen Charakter der motorischen Punkte der Grosshirnrinde ein. Sie finden die graue Substanz weit erregbarer als die darunter gelegene weisse. Einige Tage nach Zerstörung eines grauen Centrums verliere die darunter gelegene weisse Marksubstanz die Erregbarkeit, während die benachbarte, entzündlich gereizte graue Substanz stärker erregbar werde. L. Luciani und A. Tamburini finden, dass die motorisch-erregbaren Stellen der Hirnrinde ihrer Lage und Bedeutung nach nicht nur bei verschiedenen Individuen derselben Species, sondern auch an beiden Hemisphären desselben Thieres nicht unbeträchtlich variiren können, und zwar unabhängig von etwaigen anatomischen Gehirnasymmetrien.

Betz bemerkte, dass die von ihm als Riesenpyramiden bezeichneten, in Nestern angeordneten Ganglienzellen beim Hunde gerade in den von Hitzig als motorisch erwiesenen Hirnrindenpartien liegen.

Die Lokalisirung der motorischen und sensiblen Functionen in der Grosshirnrinde des Menschen suchte Hitzig durch Analogie zwischen Hunde-,

Affen- und Menschengehirn festzustellen. Er kommt zu dem Schlusse, dass die motorisch erregbare Region des Hundehirns im menschlichen Gehirn der Scheitelregion entspricht. Bei Affen liegen nach Hitzig die Centren nachbarlich in der vorderen Centralwindung; nach Ferrier auch in der hinteren Centralwindung und anderen nächstgelegenen Windungsabschnitten. Pansch machte darauf aufmerksam, dass sonach die motorischen Centren am Affen- und Hundegehirn an anatomisch nicht gleichwerthigen Windungen sich finden. J. M. Charcot und A. Pitres kommen durch möglichst vollkommene Sammlung und Sichtung der klinischen Erfahrungen über Läsionen der Grosshirnrinde des Menschen zur Anerkennung einer motorischen Region in derselben, und zwar in den beiden Centralwindungen, im Lobus paracentralis und in der Basis der drei Stirnwindungen. Die motorischen Centren für die Extremitäten lagen im Lobus paracentralis und in den beiden oberen Dritteln der Centralwindungen; die für die untere Gesichtspartie im untersten Drittel der beiden Centralwindungen, in der Nähe der Fossa Sylvii; wahrscheinlich läge das Centrum für die isolirten Bewegungen der Oberextremitäten im mittleren Drittel der Centralwindung. —

So gross auch die Uebereinstimmung dieser Lokalisirungsversuche der Functionen im Grosshirn im Augenblick scheint, so darf man doch nicht vergessen, dass die darauf gegründete Theorie noch sehr gewichtige Gegner besitzt. Goltz' und Brown-Séquard's Anschauungen wurden schon oben im Allgemeinen vorgetragen. Der Letztere beweist im Gegensatz zu dem oben Mitgetheilten aus der casuistischen Literatur, dass nicht einmal die Angabe der gekreuzten Wirkung der Hirnläsionen feststehe, er führt über 200 Fälle an, bei welchen durch Läsionen einer Hirnhälfte die gleiche Körperseite gelähmt wurde; bis jetzt habe die ärztliche Beobachtung noch kein Sprechcentrum und keine bestimmten Centren für Arm- und Beinbewegungen im Gehirn nachgewiesen, Bewegungs- und Empfindungslähmungen der Glieder gehen von den verschiedensten Hirntheilen aus. J. Burdon-Sanderson glaubt, die motorischen Wirkungen von der Hirnrinde aus zum Theil auf Stromschleifen der reizenden electrischen Ströme, durch welche die motorisch erregbaren tieferen Gehirnpartien, namentlich das Corpus striatum getroffen werden, zurückführen zu dürfen (cf. unten), während Duret und Carville den Linsenkern wenigstens als ein zweites motorisches Centrum ansprechen. Kussmaul kommt in Beziehung auf die Aphasie zu den Worten: »insbesondere werden wir über all die naiven Versuche, einen Sitz der Sprache in dieser oder jener Hirnwindung zu suchen, mit Lächeln hinweggehen«. Bei Aphasischen ist manchmal auch die Schriftsprache erloschen, manchmal schreiben rechtseitig Gelähmte, namentlich solche von geringem intellectuellem Bildungsgrade eine Spiegelschrift, von rechts nach links gehend, welche im Spiegel gesehen der gewöhnlichen Schrift entspricht.

Brown-Séquard kauterisirte mit weissglühendem Eisen die rechtseitige Hirnoberfläche bei Hunden und Kaninchen; es traten in Folge davon am Auge, Ohr, Gesicht, Nasenhöhle derselben (rechten) Seite die Zeichen einer Sympathikuslähmung ein. Brown-Séquard glaubt, dass hierbei durch Reizung von Trigeminusendigungen in der Hirnoberfläche reflektorisch der Sympathikus gelähmt wurde, da Verbrennung und Reizung von Wunden der Gesichts- und Scheitelhaut die gleichen Wirkungen hervorbringen.

Von den älteren Beobachtungen über Lokalisation im Gehirn ist hier noch Einiges nachzutragen. Die physiologischen Centren für die Vermittelung scheinbar sehr nah verwandter Empfindungen und Bewegungen scheinen im Gehirn nicht immer an nachbarliche Leitungswege geknüpft zu sein. Die aus der Pathologie bekannten partiellen Empfindungslähmungen scheinen dafür den Beweis zu liefern. Es kann durch eine centrale Ursache (Apoplexie, Bleilähmung) die Fähigkeit zur Vermittelung des Gemeingefühls an einer Körperseite vernichtet sein, ohne dass das Tastgefühl gelitten hätte. In der Chloroformnarkose geht das Gefühl für Schmerz frühzeitiger verloren als das Tastgefühl. Nach Selbstbeobachtung scheint mir hierbei überhaupt die Fähigkeit der sensiblen Nervenendorgane, auf starke Reize stark zu antworten, verloren zu sein, während doch die Fähigkeit zur Aufnahme schwacher Reize noch besteht. Das Gefühl für Berührung bleibt länger als das Schmerzgefuhl, auch das

Ohr behält die Fähigkeit, schwache Geräusche, schwache Klänge zu vernehmen, das flüsternde Sprechen, das Klirren der Sperrkette eines vorüberfahrenden Lastwagens wird vernommen.

Umgekehrt sprechen andere Beobachtungen für eine sehr innige Verknüpfung und nachbarliche Lagerung der sensiblen und motorischen Centren im Gehirn. E. H. Weber betonte schon nach seinen Beobachtungen, welche durch die Hitzig'schen Experimente bestätigt werden, dass die Centren für Tastsinn denen für willkürliche Bewegung der Glieder sehr nahe liegen müssen. Viele Empfindungen verknüpfen sich mit Bewegungen und erst das Resultat beider kommt zur Vorstellung; namentlich die Physiologie des Auges bietet für den letzten Satz, wie wir sahen, vielfältige Beweise, z. B. die Vorstellungen über Grösse, Entfernung, Bewegung der gesehenen Objecte. Auch die Pathologie lehrt, dass die für die Empfindlichkeit wichtigen Partien des Gehirns ebenso wichtig sind für die willkürlichen Bewegungen. Die Gefühlslähmungen in Folge der Zerstörung derselben sind stets mit mehr oder weniger ausgebreiteten Bewegungslähmungen derselben Seite des Körpers verknüpft.

Die Reflexe.

Die Lehre vom freien Willen scheint vorauszusetzen, dass der Mensch aus sich, aus inneren, von den Einflüssen der Aussenwelt unabhängigen Gründen auf seine Umgebung durch aktive Handlungen, Bewegungen einzuwirken vermag. Diese Art der Darstellung passt, wenn überhaupt, dann wohl nur auf eine äusserst geringe Anzahl von Bewegungserscheinungen.

Die Thätigkeit des Organismus, auf der das Ergreifen sowie das Abstossen der Körper der Aussenwelt beruht, wird zweifelsohne im normalen Bestande des Organismus am häufigsten von dem Gehirne aus hervorgerufen, aber ebenso steht es über allem Zweifel erhaben, dass diese erregende Einwirkung des Gehirnes in der grössten Mehrzahl der Fälle selbst wieder hervorgerufen wird durch ihm an sich fremde, von aussen her dem Centralorgan zugeleitete Bewegungen, Reize. Wir sehen so auf das Innigste die Empfindung und Bewegung mit einander verknüpft: bei näherer Betrachtung zeigt sich sogar deutlich, dass zunächst jeder Empfindung eine bestimmte Gruppe von Bewegungen entspricht, dass sich direct Empfindung in Bewegung umsetzt, reflektirt. Wir beobachten, dass wir diese Reflexbewegungen zwar durch den Willen unterdrücken können, sehen aber immer und immer wieder, dass ihr Zustandekommen von unserer Willkür unabhängig ist. Es lässt sich also nicht leugnen, dass ein grosser Theil der scheinbar willkürlichen Bewegungen unseres Organismus mit dem Willen als Bewegungsgrund Nichts zu schaffen zu haben braucht. Wir sind, wie oben dargelegt, gewöhnt, aus der Zweckmässigkeit einer eingeleiteten Bewegung auf ihre Spontaneität zu schliessen; es ist dieser Schluss aber, wie wir sahen, vollkommen ungerechtfertigt. Es zeigt sich, dass alle die Reflexbewegungen, die wir kennen lernen werden, in hohem Maasse die Eigenschaft der Zweckmässigkeit erkennen lassen, sie sind alle auf Abwehr dem Organismus Gefahr oder Schmerz erregender Reize oder auf Ergreifen Wollust erregender, Schmerz stillender Objekte gerichtet. Ueberall sehen wir, dass die Natur den Bestand des Organismus nicht der Willkür desselben frei überlässt, sondern in bestimmten Grenzen ihn zur Selbsterhaltung zwingt. Die betreffenden zweckmässigen, vom directen Willensantriebe unabhängigen Bewegungen des Organismus sind

nur einer der unzähligen Beweise von dem Walten der Naturkräfte, welches sich in den Einrichtungen der einzelnen Organe ebenso wie in der Verknüpfung derselben zu gemeinschaftlicher Thätigkeit beweist.

Um direct die Frage zu entscheiden, ob im Rückenmarke Organe vorhanden sind, welche durch innere, in ihnen selbst gelegene Gründe: Willen, zweckmässige Bewegungen des Körpers einzuleiten vermögen, hat man von jeher Untersuchungen an Thieren angestellt, denen man das Rückenmark unter dem verlängerten Marke durchschnitten hatte. Zu solchen Versuchen wurden vorzugsweise kaltblütige Thiere, besonders Frösche verwendet, bei welchen die Gewebe und Organe nach der Rückenmarksdurchschneidung, nach dem Aufhören der Athmung, nach dem vollkommenen Verluste alles Blutes doch noch eine längere Zeit — Stunden bis Tage lang — ziemlich ungestört functioniren können.

Schneiden wir einem Frosche den Kopf ab, so wird dadurch die Bewegungsfähigkeit des Rumpfes durchaus nicht aufgehoben, ein enthaupteter oder enthirnter Frosch unterscheidet sich eher durch grössere als durch geringere Beweglichkeit von einem gesunden. Nach Abtrennung des Gehirns pflegt sich der Frosch nach einiger Zeit wie von einer anfänglichen Betäubung zu erholen, er setzt sich auf die gewöhnliche Weise und wir sehen ihn unter Umständen sogar hüpfen.

Es ist damit bewiesen, dass in dem Rückenmarke sich die Organe finden müssen, welche nicht nur die Muskelbewegungen hervorrufen, sondern sie auch zu zweckmässigen Bewegungsgruppen vereinigen. Dürfen wir uns aber in dem Rückenmarke eine automatische, willkürliche Erregungsursache denken? Es ist dieses die Frage, ob im Rückenmarke ein Theil des Willens enthalten sei, im letzten Ende also die Frage nach der Theilbarkeit des Willens. Die Frage scheint in diesem Falle verneint werden zu müssen.

Die genauere Beobachtung des enthirnten Frosches zeigt, dass diese scheinbar willkürlichen Bewegungen trotz ihrer unverkennbaren Zweckmässigkeit in der Mehrzahl der Fälle auf die unwillkürliche Abwehr auf den Rumpf einwirkender Reize gerichtet sind. Die Bewegungen werden erregt durch Empfindungsreize; die Bewegung der sensiblen Nerven wird reflektirt auf motorische Nerven und löst auf diese Weise Muskelbewegungen aus.

Auch das Annehmen der sitzenden Stellung der enthirnten Frösche ist deutlich gegen einen Reiz gerichtet. Unter normalen Umständen nehmen die Frösche bei vollkommener Ruhe gleichfalls diese Stellung ein, da bei jeder anderen der Mangel des vollkommenen Gleichgewichtes, die Spannung einzelner Glieder als Reiz wirken muss.

Man stellt sich das Zustandekommen der Reflexbewegungen in der Art vor, dass der Bewegungsantrieb auf die Muskeln zwar von einer im Rückenmarke gelegenen Ganglienzelle oder einer Anzahl solcher untereinander anatomisch und functionell verknüpfter Centralorgane ausgeht, dass diese aber ihren Reizzustand nicht aus sich selbst producirt habe, sondern dass sie in denselben versetzt worden sei durch die von einem äusseren Reize erzeugte Erregung einer sensiblen Faser, welche entweder direct in ihr endigt oder ihren Erregungszustand durch verbindende Fasern irgendwie auf sie überträgt.

Bei Einwirkung eines schwächeren Reizes sehen wir, dass die Reflexbewegung auf derselben Seite, auf welcher der Reiz einwirkte, auftritt und zwar meist als einfache Abwehrbewegung. Es werden zuerst die Muskeln des Gliedes in Erregung versetzt, dessen Haut wir reizen; dann erst bei Verstärkung des Reizes wird die andere Extremität derselben Seite zu Bewegungen veranlasst. Steigern wir den Reiz noch weiter, so geräth auch die andere Seite in Thätigkeit, bis der ganze Rumpf in einen Sturm von Bewegungen hineingerissen ist: Reflexkrämpfe. Die Reflexkrämpfe, welche in gewissen Zuständen des Organismus (cf. unten) schon auf schwächere Reize eintreten, zeigen sich entweder an nur einzelnen Muskelgruppen oder noch häufiger an allen Muskeln gleichzeitig. Nach der Angabe von Pflüger breitet sich der Reizzustand bei Reflexkrämpfen zunächst von dem Ort der Erregung im Rückenmark in demselben Niveau aus, geht also zunächst auf die andere Rückenmarksseite über, ehe Fasern in anderen Niveaus des Rückenmarks ergriffen werden. Zeigt z. B. zuerst die eine der beiden unteren Extremitäten den Reflexkrampf, so folgt nach Pflüger weiter zunächst die gleichnamige Extremität der anderen Seite, dann die obere Extremität auf der Reizseite, dann die auf der entgegengesetzten. Jedenfalls sehen wir also, dass von einer Stelle aus, vielleicht von einer sensiblen Nervenfaser aus, der gesammte Bewegungsmechanismus des Thieres reflektorisch in Thätigkeit versetzt werden kann. Es ist diese Thatsache nur so zu verstehen, dass Zusammenhänge nicht nur zwischen den nächstgelegenen Ganglienzellen existiren, sondern dass auch alle Centren des ganzen Rückenmarkes unter einander in directem Zusammenhange stehen, so dass sich Bewegungsvorgänge in dem einen auch auf die anderen fortzupflanzen vermögen. Das Gesetz der Fortpflanzung der Erregung scheint nicht sehr complicirt. Zunächst bei schwachen Reizen bleibt der Erregungszustand auf die direct erregten Zellen beschränkt. Es existirt, wie wir an einer anderen Stelle schon ausgeführt haben, in den Ganglienzellen ebenso eine Hemmung der Bewegung wie in den anderen der Bewegung dienenden Organen. Diese Hemmung erfordert zu ihrer Wegräumung eine bestimmte Kraft; bei schwachen Reizen genügt die ihnen entsprechende Bewegungskraft, welche sie in der Zelle erregen, gerade dazu, die Hemmungen in ihr selbst und vielleicht in den nächsten Zellen zu beseitigen. Je weiter von dem Reizungscentrum aus sich die Bewegungskraft verbreiten soll, desto grösser muss selbstverständlich ihre Intensität sein. Diese ist in gewissen Grenzen eine directe Function der Intensität des einwirkenden äusseren Reizes. Mit seinem Zunehmen wird die Bewegungskraft immer weiter von dem Centrum entfernt noch stark genug sein, die Bewegungshemmungen in anderen Ganglienzellen zu beseitigen. Doch ist auch die Reflexerregbarkeit bei verschiedenen Körperzuständen sehr verschieden (cf. unten). Erkältung des Rückenmarks durch Wärmeentziehung setzt die Reflexerregbarkeit sehr bedeutend herab (J. Rosenthal).

Wir haben den elektrischen Strom des Rückenmarkes als eine Hemmungsvorrichtung der Bewegung der in der Längsrichtung säulenartig von ihm polarisirten Rückenmarksmoleküle kennen gelernt, wodurch besonders Bewegungen der Rückenmarksmoleküle senkrecht auf die Rückenmarksaxe erschwert werden. Es kann uns nicht auffallen, dass wir dieselbe, uns von dorther schon bekannte Erscheinung hier wieder auftreten sehen, indem wir die Reflexe erst auf die

der gereizten Hautstelle entsprechende Körperseite beschränkt finden, zum Zeichen, dass sich in der Längsrichtung des Rückenmarkes die Bewegungen leichter verbreiten als in der Querrichtung. Bei heftigen Reizen sehen wir auch diese Hemmung überwunden.

Das Experiment bekommt ein ganz eigenthümliches Gesicht, wenn wir einen Frosch an einer bestimmten Hautstelle reizen und ihm dann die zuerst erregte Extremität abschneiden. Es zeigt sich dann, dass er die anderen Extremitäten an Stelle der abgeschnittenen benutzt. Dieses Experiment macht auf den ersten Blick ganz den Eindruck, als wäre in dem enthirnten Rumpfe wenigstens noch ein dunkles Bewusstsein von dem jeweiligen Körperzustande und den diesem entsprechenden Bedürfnissen. Es werden, wenn die gewohnten natürlichen Bahnen der Reflexe durch die genannte Verstümmelung unmöglich geworden sind, andere eingeschlagen, deren Betreten schliesslich zu dem anscheinend bewusst angestrebten Resultate der Reizabwehr führt. Das ganze Räthsel löst sich aber sehr einfach, wenn man bei der Anstellung dieses Experimentes auf die Reizstärke, die man in Anwendung zieht, achtet. Diese scheinbar zweckmässige Anwendung des am meisten tauglichen Gliedes reducirt sich auf den schon betrachteten Fall, dass bei Reizverstärkung alle Muskeln endlich durch den Reiz in Thätigkeit versetzt werden; der Anblick des Experimentes wird nur dadurch verändert, dass wir die gleichzeitige Thätigkeit des abgeschnittenen Gliedes nicht bemerken können.

Reflexbewegungen an decapitirten oder enthirnten Thieren fehlen übrigens auch bei den Säugethieren nicht, besonders lassen sie sich an ganz jungen Individuen leicht und schön nachweisen. Man kann bei Säugethieren und Menschen auch in anderer Weise das Gehirn von der Beeinflussung des Rückenmarkes abhalten, wie durch Decapitiren. Zum Theil haben wir diesen Zustand im Schlafe; bei dem Menschen auch dann, wenn der Geist durch vollkommene Concentration auf einen ihn fesselnden Gegenstand die Umgebung gänzlich vergisst. Es lassen sich an schlafenden und in der bezeichneten Art geistesabwesenden oder narkotisirten Menschen dieselben Experimente mit gleichem Erfolge wiederholen, die wir eben bei dem Frosche betrachtet haben. Wir kommen dadurch zur Ueberzeugung, dass eine grosse Reihe der Bewegungen, die uns selbst zunächst willkürlich scheinen, z. B. das Kratzen auf Reize der Haut, die Gestikulationen bei Schmerzen, aus denen man mit Sicherheit auf den Ort des Schmerzes schliessen kann etc., im Grunde unwillkürlich sind, wahre Reflexe, woher es stammt, dass sie bei allen Menschen mit gleichbleibender Regelmässigkeit eintreten. Heftige Kolikschmerzen zwingen Jeden, die Brust dem Becken zuzuneigen und die Hände auf den Unterleib zu legen; Jeder stemmt bei Seitenstechen die Hand in die schmerzende Seite oder legt sich, wenn dadurch der Schmerz vermindert wird, in dem Bette wenigstens auf dieselbe.

Man hat früher meist angenommen, dass die Reflexbewegungen der Hautnerven stets nur in Abwehr eines gegen den Körper gerichteten Reizes beständen — bei dem Frosch das Fortstossen der kneipenden Pincette, das Wegwischen der Säure, welche man auf eine Hautstelle gestrichen hat, die Fluchtversuche, wenn man den enthirnten Rumpf festzuhalten versucht. Goltz hat nachgewiesen, dass auf bestimmte Hautreize an der Brusthaut bei enthirnten

männlichen Fröschen oder Froschstümpfen in der Begattungszeit die vorderen Extremitäten mit dem Theil des Rumpfes, an welchem sie ansitzen, den reizenden Körper — z. B. Finger — nicht wegstossen, sondern ergreifen und fest umklammern, in derselben Weise, in welcher das brünstige Männchen das Weibchen zu umklammern pflegt. Ich möchte hier daran erinnern, dass diese Umklammerung als ein Reflexkrampf der Muskulatur der oberen Extremitäten betrachtet werden muss. Bei Fröschen ist z. B. im Strychnintetanus und bei allen anderen Allgemeinkrämpfen je nach dem Geschlecht die Armhaltung konstant verschieden. Während Weibchen im Krampfe die Arme seitlich und etwas nach rückwärts ausstrecken, werden bei dem Männchen, bei dem die Beugemuskeln der Arme an Stärke überwiegen, die Arme fest über der Brust zusammengebeugt, die Hände meist gefaltet. Reizt man ein solches männliches Thier in der Krampfpause mit dem Finger an der Brusthaut, so umklammert es bei dem eintretenden Reflexkrampf regelmässig den Finger. Auch der unversehrte Frosch umklammert auf den entsprechenden Reiz, wenn man ihn unmittelbar vorher aus der Umarmung des Weibchens gerissen hat (Goltz), andere Gegenstände. Wir haben dabei an eine lokale Erhöhung der Reflexthätigkeit im Rückenmark zu denken, wie sie bei Strychninvergiftung sich allgemein zeigt.

Wir haben im Rückenmark eine grosse Zahl von Reflexcentren anzunehmen. Eine sehr grosse Anzahl solcher findet sich auch im verlängerten Marke und Gehirne. Sehen wir zuerst nur auf solche Reflexe, welche mit den bisher besprochenen schon in der Erscheinung Verwandtschaft haben, so sehen wir, dass die sensiblen Hautnerven, mögen sie im Gehirne oder Rückenmarke ihren Endpunkt haben, auf ganz gleiche Weise mit motorischen Apparaten verknüpft sind. Man braucht hier nur sich zu erinnern an die Gestikulation bei Zahnschmerz. Ebenso ist allbekannt der Augenlidschluss bei Berührung der Bindehaut (Conjunctiva). Das Husten und Niesen sind auch derartige Reflexvorgänge, bei denen sich auf Reizung bestimmter Schleimhautpartien starke plötzliche Exspirationsbewegungen einstellen, die den Luftstrom an der gereizten Stelle vorbei stossen, so dass ein dort etwa vorhandener reizender Körper herausgetrieben werden könnte. Diese Reflexe werden in der Nase durch die Reizung des Trigeminus hervorgerufen, in dem Kehlkopfe durch Erregung des Laryngeus superior, der die Schleimhaut des Kehlkopfes mit empfindenden Fasern versorgt.

Auch die Nerven der höheren Sinnesorgane sind reflektorisch mit motorischen Apparaten verknüpft. Wir haben die Muskeln kennen gelernt, welche sich an die Organe der Sinnesnerven ansetzen und sie zweckentsprechend bewegen. Wir lernten Muskeln in den Sinnesapparaten selbst kennen, deren Bewegungen reflektorisch erfolgen. Hierher gehört z. B. die Pupillenverengerung bei Reizung der Retina; die reflektorisch eintretenden Bewegungen der Muskeln des mittleren Ohres, auf deren Contractionen die Stellung der Gehörknöchelchen gegen einander beruht; die Zungenbewegungen bei lebhaften Geschmacksreizen. Aber auch bei den Sinnesnerven der höheren Sinne sehen wir, dass von einem Punkte aus nicht nur die zunächst gelegenen motorischen Centralapparate erregt werden können, sondern, dass bei Verstärkung des Reizes die Gesammtmuskulatur in Bewegung versetzt werden kann.

Die Untersuchung der eigentlich reinen, von Vorstellungen ganz unabhängigen Reflexe, welche durch die höheren Sinnesnerven vermittelt werden, wird dadurch vielfältig gestört, dass sich mit Bewegungen, die allem Anscheine nach wahre Reflexe sind, doch, wie wir aus Erfahrungen an uns selbst wissen, wahre Vorstellungen und vielleicht auch Willensantriebe verknüpfen. So wissen wir, wie leicht bei nervös erregbaren Personen vom Opticus, vom Akustikus, wie von den anderen Sinnesnerven aus Schutzbewegungen, Fluchtversuche etc., an denen sich die Gesammtmuskulatur betheiligt, hervorgerufen werden. Das Erschrecken, welches von allen Sinnesnerven aus erregt werden kann und stets wenigstens mit tetanischen Muskelzuckungen verbunden ist, hat etwas unwillkürliches und stellt sich sonach in die Reihe der Reflexvorgänge; trotzdem können wir uns, da uns zum Erschrecken die Vorstellung des Erschrecklichen zu gehören scheint, der Annahme nicht verschliessen, dass wir es hier mit Vorgängen höherer, complicirterer Art zu thun haben als bei den gewöhnlichen Reflexvorgängen. Man müsste, um die Frage, was denn eigentlich an diesen vom Gehirn und den höheren Sinnesnerven aus vermittelten Bewegungen Reflexe seien, die Seele, das Sensorium, ebenso ausschliessen können, wie wir das bei den Reflexerscheinungen am Rückenmark durch Abschneiden des Gehirnes vermochten. Man kann hoffen, entweder an Thieren, denen man das Grosshirn exstirpirte, oder an neugeborenen Kindern diese Frage lösen zu können, bei denen das Sensorium noch nicht entwickelt ist. Letztere erschrecken wirklich durch Reize von den Sinnesnerven aus ebenso wie Erwachsene.

Der Tast- und Temperatursinn ist mit einer Anzahl motorischer Apparate verknüpft. Besonders deutlich ist die Verbindung der Hautnerven mit den Bewegungsnerven für die Athemmuskulatur; das Kind schreit auf Hautreize, ohne dass es den Ort der Reizung schon zu unterscheiden vermag. Es schliesst seine Lippen reflektorisch um einen die sensiblen Lippennerven kitzelnd erregenden Körper: Brustwarze, Finger etc., worauf Saugbewegungen gemacht werden. Dass schon die Gesammtverbindung der sensiblen und motorischen Apparate existirt, ist daraus ersichtlich, dass unter Umständen auf sensible Reize fast alle Muskeln in Thätigkeit versetzt werden, z. B. bei Leibschmerzen, bei welchen die Extremitäten krampfhaft an den Leib angezogen werden, der Rücken gekrümmt, die Brust dem Unterleibe genähert wird. Auch von dem Geschmackssinn aus lassen sich schon bei Neugeborenen Reflexe auf die Gesammtmuskulatur erhalten, die, wenn stark schmeckende Substanzen mit der Zunge in Berührung gekommen sind, lebhaft genug auftreten, um uns von ihrem Vorhandensein zu überzeugen, ehe wir annehmen dürfen, dass das Sensorium schon ein Urtheil über den Werth der schmeckenden Substanz für den Organismus zu fällen vermag.

Man kann mit dem grössten Anspruch auf Wahrheit behaupten, dass die Entwickelung des Sensoriums an das Vorhandensein der grossen Hemisphären des Gehirnes geknüpft ist. Man kann danach bei Thieren den Versuch machen, diese Organe theilweise zu entfernen, um die uns vorliegende Frage zu entscheiden. Das Experiment wurde von Magendie, Longet u. A. vielfältig angestellt. Kaltblütige Wirbelthiere sind zu diesen Experimenten im Allgemeinen wenig geeignet, da sich ihr Verhalten durch die Entfernung des Grosshirns relativ viel weniger ändert, als das der Vögel und Säugethiere. Goltz beobach-

tete, dass nach Abtrennung des Grosshirns die Frösche, wenn man die Haut des Rückens sanft streicht, oder die Rückenhautnerven anderweitig mechanisch reizt, regelmässig ein Quarren hören lassen, was bei dem unversehrten Frosch nicht der Fall ist. Junge Säugethiere überleben die Operation einige Stunden. Häufig wurden Hühner oder Tauben zu diesem Experimente benutzt. v. Bischoff sah mit Voit eine der Tauben, an der der grösste Theil der Grosshirnhemisphären mit möglichster Schonung der Organe der Hirnbasis (der Grosshirnganglien) entfernt waren, sich nach der Operation wieder erholen und über ein Jahr lang Untersuchungsobject bleiben.

Die »enthirnten« Tauben sitzen anfänglich nach der Operation betäubt da, erholen sich aber nach und nach zu einem Zustande, in welchem man sie nur mit Aufmerksamkeit von gesunden Tauben unterscheiden kann. Eine solche enthirnte Taube schien munter, ging, flog auch zuweilen ohne nachweisbare Veranlassung; in die Luft geworfen flog sie bis zu irgend einen Ruhepunkte, wo sie sich niedersetzte. Sie sah vollkommen gut, die Augen bewegten sich lebhaft; es liess sich nachweisen, dass sie hörte und schmeckte. Ihr Geruchssinn war verloren. Sie liess sich durch Zupfen am Schnabel nicht nur zu Rückzugsbewegungen, sondern sogar zu Bewegungen des Zorns reizen; sie hackte dann mit dem Schnabel, gurrte und sträubte die Federn. Merkwürdig erscheint es, dass diese Taube trotz dieses anscheinend normalen Verhaltens niemals von selbst Nahrung und Getränke zu sich nahm, obwohl sie nach den Erbsen ebenso pickte wie nach anderen glänzenden Dingen. Steckte man ihr Erbsen in den Schnabel, so schluckte sie. (»Enthirnte« Hühner picken dagegen nicht nur nach den Körnern, die ihnen vorgeworfen werden, sondern ernähren sich auch damit mehr oder weniger vollständig.) Im Anfange fehlte ihr ein sicheres Urtheil über ihre Bewegungen; sie stiess an Gegenstände, die ihr im Wege standen, ging an den Rand des Tisches und wäre herabgefallen, wenn sie nicht Gebrauch von ihren Flügeln gemacht hätte; später kamen diese Erscheinungen weniger zur Beobachtung. Das eine der operirten Thiere war eine männliche Taube. Trotzdem dass normaler Samen in reichlicher Menge in den sehr entwickelten Hoden gebildet wurde, wie die Section ergab, war der Täuber doch gegen eine brünstige Täubin ganz gleichgültig, ebenso gegen andere Thiere. Aeusserungen von Furcht konnten nicht an ihm beobachtet werden. Nachts sass das Thier ruhig, den Kopf unter den Flügeln, so dass es zu schlafen schien. Vorerst geht aus diesen Experimenten hervor, dass das »enthirnte« Thier zwar die Mehrzahl der Sinneseindrücke noch erhält, dass aber keine Vorstellungen mehr durch jene erweckt werden. Die Grosshirnsphären bewährten sich also als die ausschliesslichen Organe der Vorstellungen, des Willens; rein organische Verrichtungen und Sinneswahrnehmungen zeigten sich dagegen von ihnen unabhängig. Für die Beurtheilung dieser Versuche an »enthirnten« Vögeln hat man sich an die Angabe Ferrier's zu erinnern (cf. oben S. 973), dass er an der Grosshirnoberfläche der Vögel keine psychomotorischen Centren nachweisen konnte. Wie vollkommen die Ergebnisse der Enthirnung mit den Darlegungen Meynert's über den Gehirnbau übereinstimmen geht, aus der Vergleichung des betreffenden Abschnittes hervor S. 965 u. 974.

Unsere Frage, ob von den höheren Sinnesnerven aus auch reine Reflexbewegungen vermittelt werden können, die sich auf eine grössere Anzahl von

Muskeln des Körpers erstrecken, sehen wir durch das Experiment entschieden bejaht. Es zeigt sich bei diesen Reflexbewegungen der Sinnesnerven das Auffallende, dass sie, während die Hautnervenerregung, wie wir sahen, in der Mehrzahl der Fälle nur Abwehrbewegungen erzeugt, wenigstens ebenso oft Bewegungen des Ergreifens wie des Abstossens hervorrufen. Ja es scheint, dass schwächere Reize hier stets die Aneignungsthätigkeit erwecken. Das Picken der Taube mit dem Schnabel besonders nach glänzenden Objecten — z. B. Erbsen — erinnert an die Neigung der kleinen Kinder und Wilden, die Hand nach allen glänzenden Dingen auszustrecken und die ergriffenen zum Munde zu führen, was sich demnach als eine reine Reflexbewegung ausweist. Auch schwächere Reize des Akustikus veranlassen eine Annäherung des Körpers, wenigstens ein Umdrehen und Nähern des Kopfes gegen den schallenden Körper, ebenso Geruchsreize wie aus der Bewegung des Kopfes und Körpers bei dem »Spüren« ersichtlich ist.

So haben wir also auch diesen grossen Theil der Bewegungen, die wir von den höheren Sinnesapparaten aus erregt sehen, zum grossen Theile wenigstens auf Reflexvorgänge, vom Willen gänzlich unabhängig, zurückgeführt. Wir stiessen hierbei aber auch gleichzeitig auf Thatsachen, die es uns deutlich machten, dass sich höhere Seelenthätigkeiten, Vorstellungen etc. unter normalen Umständen mit den durch Reflexe einzuleitenden Bewegungen verbinden und sie modificiren können.

Am dressirten Thiere sehen wir ebenso wie am gebildeten Menschen, dass Bildung vor Allem in einer Modifikation oder Unterdrückung der Reflexbewegungen beruht. Auch die inneren Empfindungen: Traurigkeit, Furcht, Freude, Hunger, Durst besitzen, wenn sie eine bestimmte Höhe erreicht haben, unwillkürliche, reflektorische Stellungen und Bewegungsarten, welche ihnen eigenthümlich sind und ihre Gegenwart verrathen. Dasselbe ist bei den als Leidenschaften bezeichneten inneren Empfindungen der Fall, die Unterdrückung oder Beschränkung dieser wie der erstbesprochenen Bewegungen ist Hauptaufgabe der äusserlichen Bildung des Menschen.

Wir sehen aber, dass mit dem geselligen Zustande des Menschen neben dieser Beschränkung auch ein Hervorbringen neuer Bewegungen auf äussere Reize verbunden ist, von Bewegungen, welche sich in der Art ihres Zustandekommens in Nichts von den Reflexbewegungen unterscheiden lassen. Wir können derartige Bewegungen erlernte Reflexe nennen zum Unterschied von den bisher besprochenen, die man als angeborene Reflexe bezeichnen kann. Zu den erlernten Reflexen sind die Bewegungen beim Schreiben, Lesen, Musiciren, Tanzen etc. zu rechnen. Wen erinnert nicht das plötzliche an den Hut greifen der Untergebenen, wenn sich ein Vorgesetzter naht, die rasche Beugung ihres Rückens an Reflexbewegungen? Dass sie in vielen Fällen unwillkürlich sind, ja gegen den Willen eintreten, ist allbekannt. So sehen wir also, dass wir mit bestimmten sensiblen Eindrücken durch fortgesetzte Uebung ganz bestimmte Bewegungen zu verbinden lernen, die sich in Nichts von den wahren Reflexen unterscheiden. Es werden durch Uebung, dadurch dass eine Nervenerregung von einer Stelle aus **sehr häufig** eine bestimmte Bahn durchläuft, die **Widerstände** auf dieser Bahn ge-

ringere als auf anderen, so dass die Nervenerregung, wenn der Wille als Richtungsmoment ausser Aktion ist, stets diese am leichtesten zu passirenden Wege einschlägt (S. 730, 731, 763), und es ist, wie neuerdings mehrfach, aber namentlich von DARWIN hervorgehoben wurde, sehr wahrscheinlich, dass dieser Zustand der veränderten Reflexerregbarkeit auch durch Vererbung fortgepflanzt werden kann (z. B. bei den Jagdhunden, Schäferhunden), wodurch die Zweckmässigkeit sehr complicirter Reflexe in ein neues Licht gestellt wird.

Die letzten Betrachtungen müssen uns veranlassen, auch die übrigen uns bisher bekannt gewordenen Reflexbewegungen von diesem Gesichtspunkte des Erlernten aus noch einmal zu betrachten. Schon vorhin wurde es uns aus der Betrachtung des neugeborenen Menschen klar, dass ganz zweifellos die Grundlage der Reflexvorgänge, nämlich die Verbindung aller motorischen und sensiblen Reflex-Centralorgane unter einander schon von Anfang an existirte. Trotzdem sehen wir, dass beim Neugeborenen ein Theil der Reflexbewegungen noch nicht erfolgt, wenigstens nicht in der zweckmässigen Weise wie später. Ein neugeborenes Kind schreit zwar und kommt schliesslich in starke allgemeine Bewegung, wenn es an einer Stelle seiner Haut schmerzhaft erregt wird, es gehört aber schon einige Entwickelung dazu, bis es reflektorisch die Hand z. B. zurückzieht von dem heissen Gegenstand, an dem es sich gebrannt hat; bis es den schmerzenden Gegenstand, den es gefasst hält, fallen lässt; bis es zweckmässige Abwehrbewegungen gegen die Reize zu machen im Stande ist. Es hängt dieses offenbar damit zusammen, dass die Fähigkeit der Lokalisirung der Empfindungen auf der Haut eine erlernte Eigenschaft ist, so lange diese Fähigkeit noch nicht existirt, kann vielleicht auch keine zweckmässige Reflexbewegung entstehen. So mag also vielleicht auch ein Theil der vom Rückenmarke allein nach Abtrennung des Kopfes erregten Reflexbewegungen durch Uebung erlernt sein. Doch dürfen wir nicht vergessen, dass ein grosser Theil derselben auch dem Menschen sicher angeboren ist. Es ist bekannt, dass wir im Gegensatze zu diesen am Menschen gemachten Beobachtungen bei vielen Thieren, besonders Vögeln, sehr bald nach der Geburt eine überraschende Ausbildung der Reflexbewegungen wahrnehmen; so dass diesen also fixe Bahnen für Reflexe in grosser Zahl angeboren zu sein scheinen. Vielleicht tritt mit der in der Thierreihe fortschreitend erfolgenden höheren Entwickelung der Willensorgane die angeborene Ausbildung der möglichen Reflexwege zurück, dem Willensantrieb wachsenden Spielraum gebend zur Selbsterziehung seiner Bewegungen.

Blendet man einen Frosch beiderseits, so quakt er ganz regelmässig bei Berührung seiner Ruckenhaut mit dem nassen Finger (O. LANGENDORF). GOLTZ' oben erwähnter Quakversuch scheint danach mehr auf Durchschneidung der Nervi optici als auf die Gehirnverletzung als solche zu beziehen.

Die Uebertragung des Reizes im Rückenmark von einem sensiblen auf einen motorischen Nerven nimmt eine gewisse Zeit in Anspruch, welche nach HELMHOLTZ etwa zwölfmal grösser ist als die Zeit, welche die Leitung der Erregung in den betreffenden Nervenstämmen erfordert. Wendet man nur starke (für das Maximum der Reflexerregung ausreichende und übermaximale) Reize an, so sieht man diese Reflexzeit mit der Stärke des Reizes abnehmen und endlich unter Umständen unmerklich (?) werden.

Bei Ermüdung kann die Reflexzeit wachsen (J. Rosenthal). Unter Preyer's Leitung haben Heinzmann und C. Fratscher bewiesen, dass durch continuirliche, äusserst langsam ansteigende chemische, mechanische (Quetschen) und thermische Reize bei enthirnten wie unverletzten Fröschen keine Reflexzuckungen von der Haut aus eintreten und dass die Glieder resp. die ganzen Thiere dabei ohne Reflexerregung absterben. Forster fand dasselbe für thermische Reize.

Sehnenreflexe. — (Brown-Séquard, Charot u. A.) Durch Perkussion (Erschütterung durch Klopfen) der Patellarsehne (Patellarreflexe) und der Achillessehne werden bei den meisten Gesunden, sicherer noch bei Rückenmarksleidenden Contractionen des Quadriceps resp. der Wadenmuskulatur hervorgerufen. Während Westphal diese Erscheinung aus direkter Reizung und Zerrung des Muskels erklärt, halten sie Erb und Lewinski für eine reflektorische, da sie nach Durchschneidung der betreffenden Muskelnerven verschwindet. Westphal unterscheidet die Sehnenreflexe als Unterschenkelphänomen und Fussphänomen. Auch C. Burckhardt hält diese Erscheinungen für reflektorische, glaubt aber, dass der Bogen dieses Reflexes nicht im Rückenmark, sondern im Plexus mit den Spinalganglien geschlossen werde, da die Sehnenreflexe fortbestehen nach Durchschneidung der Nervenwurzeln im Wirbelkanal und nach Zerstörung des Lendenmarks, nach Durchschneidung der Nervi crurales aber verschwinden.

Die reflektorischen Thätigkeiten haben an anderen Stellen schon öfters Erwähnung gefunden. Man fasst bekanntlich unter den Begriff Reflex nicht nur die Reflexbewegungen der Skeletmuskeln zusammen, welche wir bisher allein besprachen. Manche behaupten auch auf sensible Reizung Reflexerschlaffung (?) von Muskeln. Vierordt führt als Beispiele der Reflexerschlaffung an die Entleerung von Koth und Urin bei stärkerer Ansammlung derselben in ihren Behältern durch plötzliche Erschlaffung der Sphinkteren (?) in Folge momentaner Reizung der Haut, z. B. durch kaltes Wasser. Nach unvermutheten sensiblen Eindrücken sollen auch Spannungen von Skeletmuskeln nachlassen, so dass man z. B. ein gehaltenes Object fallen lässt. Die Erscheinungen lassen übrigens auch eine ganz andere Erklärung zu. Hier würden sich auch die in der Medicin öfter genannten Reflexlähmungen anschliessen. Auch die Hemmung der Herzbewegung auf Vagusreizung wurde als Reflexerschlaffung gedeutet. Von der reflektorischen Erregung der Drüsennerven war bei der Darstellung der Drüsenthätigkeiten mannigfach die Rede.

Die Reflexhemmung.

Schon mehrmals haben wir davon gesprochen, dass der Wille von Einfluss auf die Reflexbewegungen sei. Es setzt dieser Einfluss eine materielle Verbindung der Centralorgane des Willens sowohl mit allen sensiblen als auch mit allen motorischen Centren voraus.

Reflexhemmung vom Gehirn aus. Der Einfluss, den der Wille auf die Reflexe auszuüben vermag, besteht, ausser der Schöpfung neuer Reflexwege durch fortgesetzte Uebung, vor Allem in der Unterdrückung und Modifikation der natürlichen Reflexbewegungen. Es ist allem Zweifel überhoben, dass in den Hemisphären des Grosshirns die Centralorgane des Willens anzunehmen seien. Daher sahen wir, dass nach Abtrennung des Grosshirnes die Reflexe in ganz regelmässiger Weise auftreten, während bei dem nicht enthirnten Thiere die Reflexbewegungen willkürlich unterdrückt und durch zweckmässige Spontanbewegungen ersetzt werden können. Man hatte schon mehrfältig daran gedacht, dass im Gehirne ein eigenes Hemmungsorgan für Reflexe vorhanden sei, welches durch seine Erregung das Zustandekommen der Reflexe

verhindern könnte: ein Zwischenorgan, welches man sich unter normalen Verhältnissen vom Willen aus reflektorisch in Erregungszustand versetzt denken könnte. Setschenow zeigte, dass, wenn man einen bestimmten Theil des Gehirnes chemisch — z. B. mit Kochsalz — reizt, die Fähigkeit zu Reflexen für das gesammte Thier verschwinde, mit der Entfernung des Reizes aber wieder zurückzukomme. Das Organ, dessen Erregung diese Reflexhemmung hervorruft: das Reflexhemmungscentrum, lokalisirt Setschenow in die Lobi optici des Froschgehirnes (cf. unten). Harnstoff im Blute ist, wie schon erwähnt, ein Reiz für dieses Hemmungscentrum. Bei Anwesenheit von grösseren Mengen von Harnstoff im Blute hören zuerst die Reflexbewegungen auf und kehren nach seiner Entfernung wieder zurück. Auch diese Wirkung lässt sich auf die angegebene Stelle im Froschgehirn lokalisiren (J. Ranke). Analog scheint auch Morphium zu wirken (Setschenow).

Nach neueren Beobachtungen (Goltz, Setschenow u. A.) erfolgt auch bei enthirnten Thieren durch starke Reizung sensibler Nerven eine Reflexhemmung. Die Ausstellungen, welche namentlich Herzen an der Theorie des Reflexhemmungscentrums machte, ergeben, dass die Erfahrungen über dieses Organ noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden dürfen.

Reflexhemmung im Rückenmark. Wir haben schon gesehen (S. 762 u. 979), dass ein elektrischer, auf das Rückenmark auf- oder absteigend von aussen einwirkender Strom das Zustandekommen der Reflexe zu hemmen vermag. Die Reflexbewegungen treten immer langsamer ein, je intensiver der Strom wirkt, um endlich bei einer bestimmten Stärke desselben ganz zu verschwinden. Wir müssen also im Rückenmarke selbst, das normal stets von einem starken elektrischen Strome (Froschstrom) durchflossen ist, auch in diesem Strome eine Reflexhemmung annehmen, die es erklärt, warum auch bei dem enthirnten Frosche die Zeit eine ziemlich bedeutende ist, welche verfliesst zwischen dem Reiz und dem Eintritt der Reflexbewegung. Leider kann man aus der Bestimmung dieser Zeit keinen Schluss ziehen auf die Zeit, welche ein Reiz bedarf, um eine Ganglienzelle zu erregen. Man kennt zwar die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Erregung im Nerven; man kann auch wenigstens annähernd genau die Länge der durchflossenen Nervenstrecken messen und die auf sie treffende Verzögerung des Reizerfolges in Abrechnung bringen; es bleibt aber dabei noch eine unbestimmbare Unbekannte, welche nicht zu berechnen ist, nämlich die Länge des Weges, den die Nervenerregung im Rückenmarke selbst zu durchlaufen hat.

Unter pathologischen Umständen, bei denen sich eine Verminderung der Intensität des electrischen, das Rückenmark durchfliessenden Stromes ausbildet, sehen wir die normale Hemmung der Bewegung in den reflektorischen Centren sehr bedeutend vermindert. Wir sehen auf verhältnissmässig geringe Reize reflektorisch die Gesammtmuskulatur eines Thieres in Aktion, Tetanus, gerathen. In dieser Richtung wirkt die Vergiftung mit Strychnin. Bei dem Menschen werden derartige Reflexkrämpfe auch hervorgerufen durch verhältnissmässig geringe Reize bei sogenannten »nervenschwachen Personen«, deren krankhafter Zustand gewöhnlich mit dauernden Ernährungsstörungen der Muskeln und Nerven verbunden ist. Wir wissen, dass bei derartigen Leiden die Intensität aller normal im Organismus kreisenden electrischen Ströme abnimmt, so dass

wir es erklärlich finden, dass auch der das Rückenmark durchfliessende Strom so geschwächt ist, dass er nun nicht mehr zu einer genügenden Reflexhemmung hinreicht.

Im Zustande der Apnoe, wenn das Blut mit Sauerstoff übersättigt ist, bleiben die Reflexkrämpfe bei Strychninvergiftung aus. ROSENTHAL und LEUBE.

Automatische Centren.

Der Grund, warum wir mit solcher Ausführlichkeit die Frage nach dem Zustandekommen der Reflexbewegungen behandeln mussten, liegt darin, dass wir nur dann, wenn wir diese von äusseren Ursachen im Organismus erzeugten Thätigkeiten auszuschliessen vermögen, im Stande sein werden, wahrhaft automatische Bewegungen zu erkennen.

Unsere bisherige Betrachtung hat uns gelehrt, dass jedenfalls die grösste Anzahl der Bewegungen des thierischen und menschlichen Leibes, welche in hohem Maasse den Anforderungen der Zweckmässigkeit genügen, zu ihrem Zustandekommen eine in dem Organismus selbst entstandene — automatische — Erregung nicht bedürfen. Freilich ist damit noch nicht bewiesen, dass sie niemals durch automatische Willenserregung zu Stande kommen. Unser Bewusstsein sagt uns, dass wir unter Umständen dieselben Bewegungen willkürlich hervorrufen, die wir unter anderen reflektorisch eintreten sehen. Wir können analog, wie die Erregung durch äussere Reize entstehen kann, auch durch innere, Willensreize, die motorischen Centren erregen, aus deren Thätigkeit die geordnete zweckmässige Bewegung von Muskelgruppen hervorgeht, die der Wille an sich nicht kombinirt, die schon durch innere anatomische Verknüpfungen oder durch geringere Widerstände auf gewissen Bahnen der Nervenerregung mit einander innig zu gleichzeitiger, einer höheren Aufgabe für den Bestand des Organismus dienender Aktion verknüpft sind (koordinirte Bewegungen).

Ausser den reflektorischen schreibt man dem Rückenmarke auch automatische Apparate zu. Vom Rückenmark wird normal beständig ein Tonus glatter Muskeln unterhalten und, wie GOLTZ nachgewiesen hat, ein tonischer Einfluss auf die Aufsaugung vorzüglich aus den Lymphräumen in das Blutgefässsystem. Auch die Aufsaugung aus Darm und Magen steht nach GOLTZ unter dem Einfluss des Rückenmarks. Früher wurde auch ein Tonus willkürlicher Muskeln als automatische Wirkung des Rückenmarks angenommen.

Man versteht ursprünglich unter Muskeltonus eine direct vom Rückenmark angeregte, also aktive, beständige automatische, schwache unwillkürliche Contraction sämmtlicher Skeletmuskeln (JOHANNES MÜLLER). Man darf zunächst Tonus nicht verwechseln mit der normalen passiven Spannung des Muskels zwischen seinen Ansätzen, welche bei der Muskeldurchschneidung Auseinanderweichen der Schnittflächen veranlasst. Die nach Facialislähmung eintretende Verzerrung des Gesichts nach der gesunden Seite scheint ebenso wenig auf Tonus zu beruhen. Nach der Contraction der Gesichtsmuskeln der gesunden Seite reicht die Spannung der dadurch verzogenen gelähmten

Muskeln nicht hin, sie wieder auf ihre frühere Länge auszudehnen. Analog verhalt es sich mit den Stellungsveränderungen des Augapfels nach Lähmung einzelner Augenmuskeln. Heidenhain's Versuche sprechen direct gegen einen automatischen Tonus quergestreifter Muskeln. Er zeigte, dass ein passend gespannter Muskel, der mittelst seiner motorischen Nerven noch mit dem Rückenmarke zusammenhängt, sich auf eine Durchschneidung des Nerven nicht verlängert. Wenn man den automatischen Tonus leugnet, so ist damit noch nicht ausgeschlossen, dass nicht unter bestimmten Bedingungen vom Rückenmarke aus eine unwillkürliche, schwache Contraction willkürlicher Skeletmuskeln statt hat, aber dieselbe ist nicht automatischer, sondern reflektorischer Natur. Brondgeest durchschnitt bei Fröschen das Rückenmark unter dem verlängerten Marke und dann den Plexus ischiadicus des einen Beines. Das Thier zeigte senkrecht hängend auf der nicht operirten Seite alle Gelenke etwas gebeugt, das ganze Bein etwas angezogen, auf der operirten Seite erschienen die Gelenke schlaff. Durchschneidung der hinteren sensiblen Rückenmarkswurzeln hatte denselben Erfolg wie vollkommene Nervendurchschneidung, so dass es damit sicher gestellt erscheint, dass dem Rückenmark und von da aus den motorischen Nerven der Beugemuskeln von den sensiblen Hautnerven aus fortgesetzt ein Reiz zugeleitet wird. Diese Contractionen sind also nicht automatisch, sondern reflektorisch.

Als Tonus unwillkürlicher Muskeln wird die unter normalen Verhältnissen dauernde Contraction des Dilatator pupillae, welche nach Durchschneidung des Halsstammes des Sympathicus aufhört, angesprochen. Das automatische Centrum dieses Tonus: Centrum ciliospinale Budge, soll im Rückenmark in der Gegend des Halsmarks liegen, weil Lähmungs- und Reizungszustände dieser Rückenmarkspartie den Dilatator entsprechend beeinflussen Pupillenerweiterung bei Reizung, Verengerung bei Lähmung. Der automatische Charakter dieser Einwirkung ist jedoch nicht sicher gestellt, es sind reflektorische Beeinflussungen nicht ausgeschlossen, und neuere Versuche verlegen das eigentliche Erregungscentrum, zu welchem sich das Centrum ciliospinale nur als Zuleitungsorgan verhalten würde, in die Medulla oblongata Salkowski. Koll hat nachgewiesen, dass electrische Reizung der Vierhügel Pupillenerweiterung hervorruft, welche nach Durchschneidung des Halssympathicus aufhört.

Auch den glatten Muskelfasern der Blutgefässe kann ein beständiger schwacher Contractionszustand nicht abgesprochen werden. Er wird durch die verengernden Gefässnerven vermittelt, nach deren Durchschneidung die Gefässe sich erweitern. Dieser Tonus wird vom Rückenmark angeregt, da halbseitige Rückenmarksdurchschneidungen die Arterien halbseitig lähmen. Man nahm für diesen Gefässmuskeltonus automatische Centren im Rückenmark an. Budge sucht das Gefässnervencentrum, auf dessen Reiz sich alle kleineren Arterien verengern, im Gehirn, in der Nähe der Grosshirnstiele. Auch hier scheint der Beweis der Automatie nicht erbracht, Reflexe sind nicht ausgeschlossen. Goltz hat nachgewiesen, dass reflektorisch der Gefässtonus beeinflusst werden kann, und zwar von den Nerven der Baucheingeweide Darm und Magen, durch ihre mechanische oder electrische Reizung wird der Tonus ge-

lähmt. Andererseits verlegt man auch den Sitz des eigentlichen Erregungscentrums nun höher in das verlängerte Mark.

Auch eine dauernde, leichte Contraction glatter Sphinktermuskeln existirt. Füllt man das Rectum mit Flüssigkeit an, so wird, wenn die betreffenden Nerven intakt sind, erst bei höherem Druck der Sphinkterenschluss überwunden als nach Durchschneidung der Nerven (GIANNUZZI u. A.). Nach BUDGE, GIANNUZZI und KUPRESSOW liegt das Centrum dieser »tonischen« Innervation im Rückenmark (zwischen dem 4. und 6. Lendenwirbel bei Kaninchen und Hunden). BUDGE, der bei Kaninchen das untere Centrum genitospinale in die Gegend des 4. Lendenwirbels versetzt, findet noch ein oberes im Pedunculus cerebri. Ob ein Sphincter vesicae existirt und sein etwaiger tonischer Verschluss ist noch streitig. Die Contraction der Harnröhrenmuskulatur scheint nach BUDGE reflektorisch.

Das S. 988 erwähnte, von GOLTZ entdeckte Phänomen der Beeinflussung der Resorption im Blutgefässsystem von Seite des Rückenmarks zeigt sich darin, dass bei Fröschen nach Abtrennen des Gehirns und bei erhaltenem Rückenmark sehr rasch eine Aufsaugung einer in die Lymphräume gebrachten indifferenten Flüssigkeit in das Blutgefässsystem erfolgt: die Resorption bleibt aber aus, sowie das Rückenmark zerstört wurde. Hier ist ein beständiger Einfluss unverkennbar, ob wir ihn uns aber automatisch oder reflektorisch zu denken haben, ist ebenfalls nicht entschieden, das letztere wird dadurch wahrscheinlicher, weil reflektorisch durch Reizung der Hautnerven der unteren Extremitäten die Resorption gesteigert werden kann.

Im Rückenmarke sind sonach wahre automatische Centren bis jetzt noch kaum sicher gestellt, die auf ihre Anwesenheit gedeuteten Phänomene lassen sich auch als Reflexerscheinungen auffassen. Damit ist jedoch natürlich nicht ausgeschlossen, dass diese Bewegungscentren, welche durch Reflexe beeinflusst und erregt werden können, nicht unter Umständen auch aus Ursache innerer, in ihnen selbst entstandener Veränderungen in Thätigkeit verfallen können. Das Vorkommen zweier anatomisch verschiedener Nervenzellarten im Rückenmark deutet man für automatische Funktionen desselben (cf. unten), und die eigenthümliche Verknüpfung der automatischen Zellen mit dem Fasernetze der grauen Substanz würde auch gelegentliche Reflexe ermöglichen. Alle Vorgänge, welche zu einer Veränderung der chemischen Gewebszusammensetzung führen, erregen schliesslich auch die genannten Centren; aus diesem Grunde bringen sie z. B. Erstickungskrämpfe hervor. Wir sehen letztere daher nicht nur auftreten bei allgemeiner Verarmung des Blutes an Sauerstoff und Ueberladung mit Kohlensäure, sondern auch dann, wenn z. B. bei Stagnation des Blutes in den Gehirngefässen durch Verschluss der zuführenden Arterien oder durch Verblutung diese Veränderung zunächst nur das Blut des Gehirns oder die Gehirnsubstanz selbst trifft. Die Krämpfe bei Verblutung benannte man als anämische Krämpfe (KUSSMAUL und TENNER).

Von der Medulla oblongata, dem verlängerten Mark, finden wir eine Reihe von Bewegungen hervorgerufen, welche für die erste Betrachtung den Charakter des automatischen an sich tragen, in Wahrheit aber reflektorisch scheinen.

Die Aktionen, welche hier in Betracht gezogen werden müssen, sind vor

Allem die rhythmischen Athembewegungen und die Hemmung und Regulirung der Herzbewegung; beide Thätigkeiten haben ihren Sitz in dem verlängerten Marke. Man hat sie dort näher zu lokalisiren versucht und für die rhythmischen Athembewegungen wenigstens ist es auch gelungen, den Ort des Athemcentrums, des Centralorganes der Athembewegungen aufzufinden. Er liegt nahe der Spitze des Calamus scriptorius, an der Ursprungsstelle des Vagus und Accessorius. Seine Zerstörung unterbricht momentan die Athembewegungen, so dass bei warmblütigen Thieren sogleich nach derselben der Tod eintritt (Noeud vital, FLOURENS). Von diesem Organe aus werden fortwährend rhythmisch die Athemmuskeln in Thätigkeit versetzt, ohne dass wir von aussen her eine Reizung auffinden könnten, welche die Bewegungen als reflektorisch entstanden ausreichend erklären könnte. Auch bei dem Centralorgane der Herzregulirung im verlängerten Marke scheinen äussere Reize nicht oder in geringem Maass betheiligt (cf. unter S. 993). Trotzdem spricht eine Reihe von Thatsachen dafür, dass auch hier Reflexe im Spiele sind.

Das Athemcentrum wird von dem Vagus und Larygeus superior (J. ROSENTHAL) beeinflusst. Wir sehen auf Reizung der Nasen- und Kehlkopfschleimhaut heftige Exspirationsbewegungen eintreten, die ohne Zweifel als Reflexe gedeutet werden müssen. (Auch plötzlich erfolgende Hautreize — Begiessen mit kaltem Wasser etc. — bewirken reflektorisch Einathmungsbewegungen.) Die Durchschneidung des Vagus am Halse bewirkt Verlangsamung der Athmung; Reizung des centralen Vagusstumpfes, der also noch mit dem verlängerten Marke in Verbindung steht, beschleunigt sie dagegen wieder (TRAUBE). Diese Ergebnisse des Experimentes lassen kaum eine andere Deutung zu, als dass von der Peripherie aus durch den Vagus beständig ein Reizzustand dem Noeud vital zugeleitet wird, der seine Ganglienzellen reflektorisch in Erregung versetzt, so dass Einathmungsbewegungen gemacht werden. J. ROSENTHAL fand, dass die Reizung des Laryngeus superior den gegentheiligen Effekt hat, so dass die höchste Intensität seines Reizzustandes Exspirationsbewegungen (Husten) erzeugt. Zur Erklärung der Rhythmik der Ein- und Ausathmungsbewegungen macht er die Annahme, dass das Athemcentrum abwechselnd von den beiden genannten Reflexbahnen aus erregt wird.

Bei Verstärkung des Reizes auf das Athemcentrum werden zunächst ausser den normalen auch die accessorischen Athemmuskeln und endlich fast alle Körpermuskeln ergriffen, es treten Erstickungskrämpfe ein, für welche also das Centrum auch im Centrum der willkürlichen Athembewegungen zu liegen scheint. Doch nimmt man vielfach ein besonderes Krampfcentrum in der Medulla oblongata an, und deutet das Auftreten der Erstickungskrämpfe dahin, dass sich von dem Athmungscentrum bei Verstärkung des Reizes der Reizzustand auf benachbarte Theile der Medulla oblongata und vielleicht sogar des Rückenmarks fortsetzt, da man dann auch andere nervöse Centren: das Centrum ciliospinale, das Centrum der Gefässnerven, das Herzhemmungscentrum etc. in den Erregungszustand verfallen sieht. Der Reiz des Athemcentrums und der übrigen genannten Centren beruht, wie gesagt, normal auf einer chemischen Veränderung der Gewebsflüssigkeiten der nervösen Centralorgane (vor Allem Verarmung an Sauerstoff und Anhäufung von Kohlensäure, cf. unten).

Auch für die Reflexerregung des Centrums für Regulirung der

Herzbewegung sprechen Thatsachen. Es scheint, dass stets von einer Anzahl sensibler Nerven aus reflektorisch Erregungszustände zu dem verlängerten Marke geleitet werden, welche die Herzbewegung verlangsamen. Das Nähere ist bei der Besprechung der Herznerven schon mitgetheilt. Auch das vasomotorische Centrum scheint in der Medulla zu liegen. Durchschneidung des Halsmarks lähmt und erweitert alle Arterien im Bereiche unterhalb des Schnittes, Reizung der Medulla verengt dagegen die Arterien (cf. oben und bei Gefässnerven). Nach dem oben Angeführten liegt auch das eigentliche Bewegungscentrum des Dilatator pupillae in dem verlängerten Mark.

In der Medulla oblongata sind auch die Centren der Schlingbewegungen und der Kaubewegungen gelegen, welche beide reflektorisch, ersteres durch die sensiblen Nerven, welche in den Gaumenzweigen des Sympathicus liegen (SCHRODER VAN DER KOLK), erregt werden. Man schliesst auf ihr Vorhandensein daraus, dass sowohl Schlingkrämpfe als Kaumuskelkrämpfe (Trismus) bei Reizzuständen der Medulla oblongata auftreten.

Auch ein Centrum für chemische Aktion liegt im verlängerten Marke: das Centrum für Zuckerbildung in den Organen (Leber), neben ihm liegt ein anderes, dessen Reizung die Harnsekretion vermehrt. Beide Organe scheinen ebenfalls im normalen Zustande reflektorisch erregt zu werden. Nach der Exstirpation der Leber soll nach SCHIFF die betreffende Gehirnverletzung nicht mehr Diabetes hervorrufen. Diese Angabe wird durch die Entdeckung der Glycogen- und Zuckerbildung im Muskel und ihre Betheiligung am Diabetes zweifelhaft. Nach den Angaben BRÜCKE's, dass der Harn normal einen geringen Zuckergehalt erkennen lasse, schien das Centrum der Zuckerbildung beständig in geringem Grade thätig zu sein. J. SEEGEN's neue Versuche machten aber den normalen Zuckergehalt des Harns zweifelhaft. Nicht nur bei Säugethieren bringt der »Zuckerstich«, die Piqure, eine Zuckerausscheidung im Harne zu Wege. KÜHNE hat den Zuckerstich mit Erfolg bei Fröschen, M. BERNHARD bei Vögeln ausgeführt.

Wir sehen, dass auch die scheinbare Automatie der Thätigkeiten des verlängerten Markes bei näherer Betrachtung sich auf reflektorische Erregung zurückführen lässt. Doch haben diese Aktionen immerhin etwas Besonderes vor den vorhin besprochenen Reflexbewegungen voraus. Wenn die Erregung, der sie den Antrieb verdanken, auch nicht zuerst in den motorischen Centren automatisch begonnen hat, so erfolgt dieselbe doch unter normalen Bedingungen in Folge von inneren, nothwendigen Zuständen des Organismus selbst nicht durch Reize, welche von aussen auf denselben einwirken. Wir können diese letzte Gruppe als innere Reflexe von den äusseren Reflexen, bei denen der Reiz ein äusserer, mehr zufälliger ist, unterscheiden.

In dem Mittelhirne, im Kleinhirn und auch noch in der Medulla oblongata scheinen die Coordinationscentren der Bewegung zu liegen, von denen unten noch Näheres folgt. Die Lage des Reflexhemmungscentrums (SETSCHENOW) ist schon oben S. 987 besprochen. Electrische Reizung der Vierhügel bewirkt bei erhaltenem Sympathicus Pupillenerweiterung; das obere Centrum genitospinale und das obere Gefässnervencentrum verlegt BUDGE in die Hirngegend, in welcher der Pedunculus cerebri liegt.

Zusammenstellung einiger wichtiger Reflexbewegungen.

Durch Reflexvorrichtungen stehen manche Nerven in sehr inniger Beziehung.

Der Nervus opticus steht reflektorisch in naher Beziehung zum Nervus oculomotorius, N. facialis und den sensitiven Nasenzweigen des Trigeminus. Eine Reizung des Opticus führt zu einer Reflexreizung der Pupillarfasern des Oculomotorius; Munk zeigte, dass auf mechanischen Reiz des Opticus die Pupille sich wie bei stärkerer Lichtreizung des Opticus verengere. Eine heftige Opticuserregung zwingt reflektorisch zum Lidschluss der Augen (Facialis) und erregt Kitzel in der Nase, ja sogar Niesen (Trigeminus).

Des Nervus Trigeminus sensible Zweige reflektiren ihren Erregungszustand auf den Ramus lacrimalis des Augenastes, den Nervus facialis und die Exspirationsnerven. Niesen und Blinzeln mit den Augenlidern vermittelt er dadurch reflektorisch, ebenso die Reflexabsonderung des Speichels und der Thränen.

Die meisten Reflexe, vom Nervus vagus ausgehend, sind oben schon ausführlich beschrieben. Es muss nur nochmals an den Reflex auf die Athemnerven erinnert werden. Der Husten, welcher auf Kehlkopfreizung eintritt, ist Wirkung des Vagus (Nervi laryngei superiores), welche ihren Reizzustand auf die Athemmuskulatur übertragen. Nach Durchschneidung der N. laryngei superiores bleibt der Husten aus.

Der Nervus glossopharyngeus steht in reflektorischer Beziehung zur Speichelsekretion. Seine sensiblen Fasern stehen in Reflexbeziehung zu dem motorischen Centrum des Schluckaktes.

Für die Rückenmarksnerven fand E. Harless, was E. Cyon bestätigte, dass durch die hinteren Nervenwurzeln den vorderen reflektorisch (nach Bezold und Bever) ein erhöhter Erregbarkeitsgrad mitgetheilt wird.

Sehr wichtig ist die Beobachtung Schiff's und Lovén's, dass von gewissen sensiblen Rückenmarksnerven aus auf die Weite der Gefässe reflektorisch eingewirkt werden kann: z. B. von den sensiblen Fasern der oberen Cervikalnerven kann auf die Lumina der Gefässe des Ohres eingewirkt werden. Auf dieselbe Weise (Reizung sensitiver Rückenmarksnerven) kann reflektorisch durch Vermittelung des Vagus der Herzschlag verlangsamt werden. Nach Vagusdurchschneidung hört diese Reflexmöglichkeit auf. Dieselben Nerven können auch die Athemnerven reflektorisch erregen, zu tiefen Inspirationen, wie schon oben erwähnt wurde.

Koordinirte Bewegungen. Die Grosshirnganglien.

Aus dem, was wir bisher kennen gelernt haben, geht hervor, wie vielfältig die Verbindungen der einzelnen Centralorgane des Nervensystemes unter einander sind, wie verwickelt die Leitungsbahnen, die ein Reizzustand im Rückenmark und noch mehr im Gehirne zu durchlaufen hat.

Die besprochenen Thatsachen setzen vor Allem Verbindungsfasern zwischen den einzelnen Ganglienzellen — intercentrale Fasern — voraus. Auf ihrer Anwesenheit beruht die Möglichkeit der Reflexe, welche uns zu der oben gemachten Annahme zwingen, dass die den Reflexen vorstehenden Ganglienzellen im Rückenmarke und Gehirne mit einander in wechselweiser Verbindung stehen, so dass von einer Reizstelle aus durch verstärkten Reiz endlich die Muskeln des ganzen Organismus in Aktion versetzt werden können. Es veranlasst uns die schon mehrfach besprochene Thatsache, dass auf einen Willens- oder Reflexreiz meist nicht ein Muskel allein zuckt, sondern eine Combination von

Muskelcontractionen zu einer für den Organismus zweckmässigen Gruppe von Bewegungen erfolgt, eine nähere Verbindung der motorischen Centren für bestimmte, einzelne Bewegungsgruppen anzunehmen. Man bezeichnet diese zu einem einheitlichen Zwecke für den Organismus gewöhnlich verbunden eintretenden Bewegungen als koordinirte Bewegungen. In welcher Weise wir uns diese nähere Verbindung der Bewegungscentren der einzelnen Muskeln, wodurch koordinirte Aktionen möglich werden, zu denken haben, ist noch nicht völlig klar. Wir haben schon bemerkt, dass sich ein Reizzustand im Rückenmarke und wohl auch im Gehirne zuerst und am leichtesten auf die der gereizten zunächst gelegenen Ganglienzellen verbreitet. Wir können uns darnach den Grund der gleichzeitigen Erregung in einem Naheliegen, in einer engeren Verknüpfung der betreffenden Centralorgane bedingt denken. Die Ursachen der koordinirten Bewegungen hängen sicher auf das Innigste mit den Ursachen der auf einen bestimmten Reiz mit Bestimmtheit eintretenden Reflexbewegungen zusammen. Wir haben dort die Annahme gemacht, dass gewisse Erregungsbahnen, welche öfter betreten wurden, einen geringeren Widerstand der Erregung darbieten als andere, welche die Erregung bisher selten gewählt hat. Auch die Koordination gewisser Bewegungen kann sonach erlernt sein, sie wird verfeinert oder beschränkt durch Uebung (cf. unten S. 997).

Wir dürfen nicht glauben, dass ein solches Wegsamerwerden gewisser Erregungsbahnen eine Erscheinung wäre, für welche wir nicht Analogien in anderen Gebieten der Physiologie besitzen. Ich erinnere hier daran, dass der gleiche Reiz der Muskelnerven bei den erstmaligen Wiederholungen den Muskel zu grösseren Leistungen antreibt, so dass offenbar die Hemmung der Bewegung weniger stark ist, wenn die Bewegung schon ein- oder mehrmal eingeleitet war. Die Hemmung der Bewegung nimmt dadurch, dass sie öfter durchbrochen wird, anfänglich an Stärke ab; später, wenn wahre Ermüdung eintritt, nimmt sie dagegen wieder zu, bis bei dem Maximum ihrer Intensität jeder Reiz zu schwach ist, Bewegung auszulösen. Diese Erhöhung der Beweglichkeit der Moleküle durch öfteres Einleiten von Bewegungen zeigt sich auch deutlich am Nerven- und Muskelstrom, wie aus der Verstärkung hervorgeht, welche die negative Schwankung des Nerven- und Muskelstromes bei öfterem Tetanisiren anfänglich, ehe Ermüdung eintritt, erfährt. Es beruhen diese Schwächungen der Bewegungshemmung der Moleküle auf chemischen Veränderungen der Substanz der in Frage kommenden Zellen und ihrer Ausläufer, auf einer Art lokaler angehender Ermüdung, wie man diesen Zustand geschwächter Hemmung der Moleküle nennen kann. Eine lokale Ermüdung, wie wir sie auch, gekennzeichnet durch gewisse der Ermüdung entsprechende chemische Alterationen der Gewebsflüssigkeit (z. B. Zunahme des Wassergehaltes), in einzelnen im Haushalte des Organismus besonders oft gebrauchten Muskeln — Herz, Athemmuskeln etc. — antreffen. Cf. die Besprechung über Ermüdung der Muskeln und Nerven S. 714).

Das Koordinationscentrum der gemeinsamen Bewegung aller vier Extremitäten liegt beim Frosch in einer höchstens 0.5 mm dicken Hirnschicht, welche begrenzt wird durch zwei Schnitte, von denen man den einen an der Grenze zwischen Vierhügel und kleinem Gehirn, den anderen an der unteren Grenze des kleinen Gehirnes führt. Durchschneidet man nur an der Grenze

zwischen Vierhügeln und kleinem Gehirn, so fängt der Frosch nach einiger Zeit von selbst zu kriechen an (VOLKMANN), wahrscheinlich in Folge einer Reizung von der Schnittwunde aus. Der tiefer geführte Schnitt hebt diese Fähigkeit der »automatischen« geordneten Ortsbewegung auf. Doch scheinen Koordinationscentren für die geordneten Bewegungen des Gesammtkörpers ausser im Kleinhirn auch im Mittelhirn (Brücke, Pedunculi, Corpus striatum, Sehhügel, Vierhügel) und in der Medulla oblongata zu liegen, da experimentell eingeleitete Verletzungen aller dieser Organe Zwangsbewegungen (MAGENDIE, SCHIFF u. A.) hervorrufen. Man bezeichnet mit diesem Namen verschiedene krampfhafte, ungewöhnliche Ortsbewegungen des Körpers oder Versuche zu solchen, namentlich Wälz- und Rollbewegungen um die Längenaxe des Körpers, sowie Reitbahnbewegungen, bei denen die Fluchtversuche das verletzte Thier nach Beschreibung einer Kreisbahn wieder an den Ausgangspunkt zurückführen. Liegt das Thier auf dem Boden, so dreht es sich wohl auch wie der Zeiger einer Uhr um seine Hinterbeine. Auch krampfhaftes Vor- und Rückwärtseilen kommt vor. Rollbewegungen, und zwar meist von der gesunden Seite nach der verletzten, treten ein nach Durchschneidung des mittleren Kleinhirnstiels einer Seite oder eines Seitentheils der Brücke. Die Bewegung hört auf, wenn eine entsprechende Verletzung auf der anderen Seite angebracht wird. Nach der gesunden Seite erfolgt die Drehung nach Verletzung eines Sehhügels oder Hirnschenkels. Diese letzteren Verletzungen bewirken jedoch auch Reitbahnbewegung, welche beim Frosch auch nach der Ausschneidung eines Lobus opticus erfolgt. Vorwärtsbewegung tritt beim Kaninchen ein, wenn nach Entfernung der Grosshirnhemisphären beide Streifenhügel ausgeschnitten werden. NOTHNAGEL bezeichnet den nach ihm ganz nahe dem freien Ventrikel zugekehrten Rand liegenden Abschnitt des Streifenhügels, dessen Verletzung Vorwärtsbewegungen veranlasst, als: Nodus cursorius, Laufknoten. Exstirpation des Kleinhirnes bewirkt in manchen Fällen Rückwärtsbewegung, in anderen Störung in der Erhaltung des Gleichgewichts (R. WAGNER). Es ist nicht entschieden, ob diese Zwangsbewegungen Folgen der Reizung oder der Lähmung eines nervösen Centralorgans der Koordination oder nur bestimmter leitender Organe sind. Am wahrscheinlichsten erscheint es, dass eine Anzahl dieser Bewegungen in halbseitigen Halblähmungen der Muskeln ihren Grund haben, welche die Aktionen der ungelähmten Seite überwiegen lassen, andererseits könnte freilich auch eine abnorm starke Aktion der kranken Seite durch Ueberreizung angenommen werden. Ueberdies sind die angeführten Erfolge keineswegs vollkommen konstant.

Neben den koordinirten Bewegungen stehen die associirten Bewegungen, Mitbewegungen und Mitempfindungen, welche keine Zweckmässigkeit der Zusammenwirkung erkennen lassen. Die Mitbewegungen (z. B. Stirnrunzeln bei starker körperlicher Anstrengung) können durch den Willen unterdrückt werden. Mitempfindungen, wie z. B. Kitzel im Kehlkopf bei Reizung des äusseren Gehörorgans oder umgekehrt, sind vom Willen unabhängig.

Ueber die verschiedene Funktion der Ganglien der Haube und der Ganglien des Fusses des Hirnschenkels (MEYNERT) war oben (S. 967, 974) ausführlich die Rede. Die Ganglien der Haube (Sehhügel, Vierhügel, innerer Kniehöcker) vermitteln die combinirten Bewegungen, die als unbewusst reflektorische durch

die von der Peripherie zu ihnen gelangenden Eindrücke entstehen. Die Ganglien des Hirnschenkelfusses (geschwänzter Kern und Linsenkern) dienen den eigentlich psychischen Funktionen, nach ihrer Ausschaltung kann der gesammte Reflexapparat ungestört fort bestehen.

Nach MEYNERT macht Zerstörung des Linsenkerns stets hemiplectisch; Degeneration des Ammonshorns stehe mit epileptischen Erkrankungen im Zusammenhang (cf. oben epileptogene Hirnzone S. 975).

Bei Vögeln findet FERRIER, wie oben angegeben, die Hirnoberfläche für die stärksten Inductionsströme vollkommen unerregbar, nur bei Reizung der hinteren Scheitelpartie tritt Pupillenverengerung ein. Vom Gewölbe, Hippocampus major, Thalamus opticus und den umlagernden Partien aus konnte er durch die stärksten Induktionsströme keine motorische Reaktion hervorrufen. Bei Reizung der Oberfläche des Streifenhügels sah er bei Hunden Pleurothotonus mit vorwiegender Action der Flexoren eintreten; bei Reizung der Oberfläche der Vierhügel Pupillenerweiterung mit Opisthotonus; Reizung der Kleinhirnoberfläche an verschiedenen Punkten brachte verschiedene Augenstellungen hervor. F. LUSANA und A. LEMOIGNE finden, dass die oberflächliche Schicht des Sehhügels in Beziehung zur Sehfunction stehe; nach Zerstörung dieser Schicht erblinde das entgegengesetzte Auge; auch in den Vierhügeln wollen sie Centren für die Gesichtswahrnehmung gefunden haben. NOTHNAGEL findet das Kleinhirn durch mechanische Reize motorisch erregbar. B. DANILEWSKY JUN. beobachtete, dass bei schwacher electrischer Reizung der Cauda corporis striati und der nächstangrenzenden Theile der weissen Substanz die Inspiration verlangsamt und vertieft wird und der Blutdruck zu steigen pflegt, die Pulswellen werden grösser, die Pulsfrequenz nimmt ab.

Leitungswege der Erregung in den nervösen Centralorganen.

Für das Gehirn gehen aus der oben S. 964 gegebenen Bauübersicht die Hauptleitungsbahnen hervor.

Eine vollständige Durchschneidung des Rückenmarkes lähmt die untergelegenen Körperpartien vollkommen für willkürliche Bewegungen und Empfindungen. Die Reflexe in dem abgetrennten Rückenmarkstücke bleiben dabei aber bestehen, und zwar zeigt es sich, dass die Reflexerregbarkeit in dem von dem Willensorgane abgetrennten Theile des Rückenmarkes wenigstens anfänglich erhöht ist. Von der directen Reizung des Rückenmarkes, mit Ausnahme seiner Nervenwurzeln, wurde behauptet, dass dadurch weder Bewegung noch Empfindung vermittelt werden können. Da man unter allen Umständen sah, dass diese für directe Reize unempfindlich scheinenden Rückenmarkspartien trotzdem die Vorgänge der Empfindung und Bewegung im Nerven leiten, so schien es nöthig, die Functionen der Erregbarkeit von der Leitungsfähigkeit für die centralen Nervenfasern zu trennen. Die Nerven, welche motorische Erregung leiten, aber nicht direct zu motorischen Effekten durch die äusseren Nervenreize zu erregen sind, bezeichnete man als kinesodische, die sensiblen Leitungsfasern als aesthesodische. Neuere Untersuchungen (FICK

und Dittmar sprechen aber doch für eine directe Reizbarkeit der Vorder- und Hinterstränge.

Nach den Beobachtungen von Schiff leitet die graue Substanz des Rückenmarkes sowohl für Empfindung als Bewegung und zwar nach allen Richtungen, so dass partielle Durchschneidungen derselben die Leitung nicht stören. Nach halbseitigen Durchschneidungen des Rückenmarkes nimmt das Gefühl auf der gesunden Seite unterhalb des Schnittes ab, auf der durchschnittenen Seite tritt dagegen unter dem Schnitte eine Steigerung der Empfindlichkeit ein. Auch die coordinirten Bewegungen und Reflexe scheinen durch die halbseitige Durchschneidung meist nicht wesentlich gestört, manchmal mehr auf der gesunden Seite als auf der durchschnittenen. Man bezieht diese Beobachtungen auf eine Kreuzung der Rückenmarksfasern (cf. unten). Gänzliche Durchschneidung der grauen Masse soll die Leitung des Schmerzgefühles aufhören machen, obwohl die Erregung durch Tastempfindungen noch ungestört fortbestehe. Die weissen Stränge des Rückenmarks sind in ihrer Leitungsfähigkeit verschieden. Die Hinterstränge stehen der sensiblen, die Vorderstränge der motorischen Leitung vor. Das Leitungsvermögen der seitlichen Stränge des Rückenmarkes ist ein gemischtes.

Nach den Untersuchungen Setschenow's scheinen wir die Annahme des allseitigen Leitungsvermögens der grauen Substanz wenigstens für das Froschrückenmark modificiren zu müssen. Er zeigte nämlich vor Allem, dass der eben angegebene Erfolg der halbseitigen Rückenmarksdurchschneidung am sonst unverletzten Frosche sich ganz anders gestalte als am geköpften Thiere, an welchem nach der Theorie Schiff's die Verhältnisse die gleichen sein sollten. Die Ergebnisse sind nach Schiff verschieden, je nach dem Orte, an welchem man das Gehirn vom Rückenmarke abtrennt. Schneidet man gleich unterhalb der Rautengrube durch, an der Grenze zwischen verlängertem Marke und Rückenmarke, so verschwindet die Fähigkeit der Reflexverbreitung von der hinteren auf die vordere Extremität, wenn das Rückenmark halbseitig durchschnitten ist, auf der durchschnittenen Seite. Bei Reizung der vorderen Extremitäten kommen sehr häufig auf der durchschnittenen Seite Reflexbewegungen der hinteren Extremitäten zu Stande. Ganz regelmässig wird dieser Erfolg, wenn man etwa in der Mitte der Rautengrube, also etwas höher den köpfenden Schnitt führt. Geht man mit dem Köpfen noch etwas höher zwischen Vierhügel und kleines Gehirn, so hindert die halbseitige Rückenmarksdurchschneidung die allseitige Ausbreitung der Reflexe nicht mehr. Somit umschliessen die zwei Querschnitte, welche das verlängerte Mark und das kleine Gehirn in sich fassen, die unteren Grenzbezirke, wohin die von hinten nach vorn sich fortpflanzende sensitive Erregung bei Fröschen mit halbseitig durchschnittenem Rückenmarke gelangen muss, um von hier aus auf die motorischen Bahnen aller vier Extremitäten übertragen zu werden.

Es ist dieselbe Hirnschicht, welche auch die Coordinationscentren aller vier Extremitäten in sich einschliesst (cf. oben). Diese Thatsachen zeigen uns, dass auch für das Zustandekommen der coordinirten Bewegungen Centralorgane existiren, so dass wir uns denken können, dass durch einen einfachen Willensantrieb das betreffende Organ der Bewegung in Thätigkeit versetzt werden kann, ohne dass willkürlich jeder einzelne der betheiligten Muskeln zur

Contraction angeregt werden müsste. Es bestätigt diese Beobachtung des Ortes der Coordinationscentren die schon ausgesprochene Vermuthung, dass die Organe für gleichzeitig auf einen Reiz eintretende Bewegungen sich nahe gelegen sein werden, damit sich der Reizzustand von dem einen auf das andere leichter ausbreiten könne.

Setschenow folgert aus seinen Beobachtungen die Anwesenheit von drei verschiedenen Reflexbahnen. Eine für die Verbreitung der Reflexe von der vorderen Extremität auf die hintere, und eine andere, welche den umgekehrten Weg zu ermöglichen hat. Sie sind nicht identisch, da nur die ersten eine durchschnittene Stelle des Rückenmarkes zu umgehen vermögen, was die zweiten niemals thun, also in ihrem Verlaufe nach vorn in der entsprechenden seitlichen Rückenmarkshälfte bleiben. Ausser diesen beiden Wegen besitzt das Rückenmark noch besondere Hauptleitungswege der Empfindungsreize, welche erst in den Coordinationscentren der vier Extremitäten endigen. Nur wenn diese unverletzt vorhanden sind, können als Reflexe wirklich normale Lokomotionen des Gesammtthieres (z. B. Kriechen) erfolgen.

J. Beresin behauptet, dass die rein sensiblen und reflektorischen Fasern der Froschhaut verschiedene seien. Die Hautnerven der hinteren Extremität des Frosches sind in drei Spinalwurzeln angeordnet. Die am meisten nach hinten liegende ist am dicksten, die vorderste am dünnsten. Diese dünne vordere Wurzel soll direct dem Gehirne die sensible Erregung zuleiten, auf ihre Reizung hin bewegt sich der Froschkopf, ohne dass sonst auf dem Wege reflektorische Bewegungen ausgelöst werden. Die Reflexe verschwinden bei geköpften Thieren, wenn die beiden anderen Wurzeln durchschnitten sind und sie allein erhalten ist. Solange das Gehirn unverletzt ist und mit dem Rückenmarke zusammenhängt, erregt auch die vorderste Wurzel Bewegungen, welche aber verschwinden, wenn das Gehirn unter den Hemisphären abgetrennt wird, so dass die fraglichen Fasern demnach in den Hemisphären ihr Ende finden würden.

In der Medulla oblongata sind die Bahnen der Erregung noch verwickelter als im Rückenmarke. Im Gehirne (cf. oben S. 964, 996) wird die Untersuchung durch die mehr oder weniger vollständige Kreuzung der Nervenfasern noch weiter complicirt. Da man noch nicht mit aller Sicherheit weiss, ob alle und, wenn nicht, welche Fasern diese Kreuzung zeigen, so wird das Durchschneidungsexperiment zu einem unsicheren und vieldeutigen. Als gewiss erscheint, dass sämmtliche motorische und sensible Fasern der einen Körperhälfte mit dem Grosshirne der anderen Hälfte verbunden sind. Störungen in der rechten Hirnhemisphäre, z. B. durch apoplektische Blutergüsse in die Gehirnsubstanz mit Zerstörung der letzteren, setzen meist Empfindungs- und Bewegungslähmung der linken Körperhälfte und umgekehrt. Die aus dem Rückenmarke zum Gehirne führenden motorischen Fasern kreuzen sich in dem verlängerten Marke und in der Varolsbrücke, in den Grosshirnstielen ist die Kreuzung der Fasern schon geschehen. Zu den schon im Grosshirn beschriebenen Centren — Reflexhemmungscentrum und Coordinationscentrum für die Bewegung der vier Extremitäten bei dem Frosche — kommen noch die oben (S. 993 f.) aufgeführten Centren hinzu.

Die Kreuzung der Rückenmarksnerven stützt sich auf anatomische und physiologische Beobachtungen (cf. unten über den Bau des Rückenmarks). Eckhard spricht ihr Ge-

setz folgendermassen aus: die willkürlich motorischen und bewussten sensitiven Vorgänge verbleiben während ihres Verlaufs nicht sämmtlich auf der Seite, auf welcher sie erregt wurden, sondern überschreiten an irgend welchen Stellen die von vorn nach hinten durch die Mitte des Rückenmarks gelegt gedachte Ebene (van Deen, Brown-Séquard, Türk, v. Bezold u. A.). Durchschneidet man das Rückenmark bei einem lebenden Frosch bis zur Mittelebene, so ist das Bein auf der Schnittseite unvollkommen gelähmt, dagegen ist seine Empfindlichkeit für Reflexreizung gesteigert, während die Empfindlichkeit auf der unverletzten Seite vermindert ist (Türk). Diese und die oben angeführten Versuchsergebnisse, welche lehren, dass nach halbseitiger Rückenmarksdurchschneidung auf der verletzten Seite in Theilen, deren Nervenwurzeln nicht zu nahe am Schnitt entspringen, noch willkürliche Bewegung und Gefühl verhältnissmässig wenig beeinträchtigt existiren, beweisen, dass mögliche Leitungswege der Empfindung und Bewegung von der einen Rückenmarkshälfte unter- und oberhalb der angelegten Schnittwunde auf die verletzte Seite herüberführen. Es kann daraus aber keineswegs behauptet werden, dass alle nervösen Leitungsbahnen im Rückenmark sich kreuzen. Man hat das Rückenmark bei Fröschen der Länge nach getheilt, wobei man die Kommissuren natürlich gänzlich zerstörte, ohne dass volle Lähmung der Glieder beobachtet wurde. Es gibt sonach Leitungsbahnen, welche auf derselben Rückenmarkshälfte von der Peripherie bis zum Gehirn verlaufen, andererseits findet sich Kreuzung eines Theiles der Bahnen, und zwar sowohl in der weissen als in der grauen Substanz, welche, wie wir unten sehen werden, äusserst zahlreiche und verschieden gerichtete nervöse Verbindungen zwischen den Elementen des Rückenmarks herstellt. Damit stimmen auch die Ergebnisse der Reflexversuche gut überein. Der Einfluss der Beobachtungen Setschenow's u. A. auf die Lehre von der Kreuzung der Rückenmarksfasern ergibt sich aus dem oben Gesagten. — Die bisherigen physiologischen Beobachtungen über die Leitungswege im Rückenmark bieten offenbar nur Bruchstücke des wahren Sachverhaltes dar.

Chemische Lebensbedingungen der nervösen Centren.

Die nervösen Centralorgane stehen unter denselben Einflüssen chemischer Lebensbedingungen wie die übrigen Organe. Ihre normale Functionsfähigkeit ist zunächst gebunden an eine genügende Aufnahme von Sauerstoff und Abfuhr und Neutralisation der Zersetzungsprodukte des Gewebes, vor Allem der Kohlensäure und der bei der Thätigkeit der nervösen Centralorgane in grösseren Mengen sich bildenden fixen Säure durch die Blutcirculation, daher sehen wir bei Anämie Gehirnstörungen, Geistesstörungen eintreten. Die allgemeineren chemischen Lebensverhältnisse des Nervengewebes haben schon oben Cap. II und III und S. 727 Darstellung gefunden. Bei den nervösen automatischen Centren wurde zunächst die Frage aufgeworfen, welche innere Veränderung des Gewebes als Reiz für die automatische Erregung anzusehen sei. Es stiess uns diese Frage schon mehrmals auf, z. B. bei der Entscheidung darüber, was als Reiz für die Athemcentren, oder für die peripherischen Centren der Darmbewegung angesprochen werden müsse. Gewöhnlich glaubte man bisher, dabei nur die Frage berücksichtigen zu müssen, ob die Erregung durch Sauerstoffmangel oder durch Kohlensäureanhäufung im Blute, resp. im Gewebssafte der betreffenden Organe geschehe. Für beide Annahmen lassen sich, wie wir sahen, Gründe darbringen. Man darf hier aber nicht vergessen, dass die venöse Veränderung des Blutes wie in anderen Geweben, so auch im Gehirn nicht nur in einer Verarmung an Sauerstoff und einer Bereicherung an Kohlensäure besteht, es mischen sich auch andere Gewebsschlacken dem Blute bei, die sich zum Theil nicht indifferent für die Centralorgane erweisen. Latschenberger constatirte, dass »überhitztes« Blut und Blut erstickter Thiere als Reiz auf das Athemcentrum wirke. Ob die Kohlensäure als nervöser Reiz aufgefasst werden darf, machen meine direct darauf gerichteten Versuche ziemlich unwahrscheinlich. Kohlensäure scheint nach meinen Beobachtungen, abgesehen von Ammoniak, die einzige direct im Stoffwechsel entstehende Substanz, welche so-

wohl Nervencentren (Ganglienzellen), als Nervenfasern in ihrer normalen Erregbarkeit von vorn herein herabsetzt und die der ersteren sehr bald vernichtet. Als directen Reiz werden wir also wohl andere Stoffwechselprodukte zu denken haben, und es wurde schon oben auf die bei ihrer Thätigkeit in den Centralorganen entstehende fixe Säure als Reiz für die Ganglienzellen resp. ihre Fasern hingewiesen.

Ich habe einige der häufigsten Stoffwechselprodukte auf ihre Einwirkung auf die nervösen Centralorgane untersucht, sie lassen ganz eigenthümliche, specifische Wirkungen erkennen. Spritzt man verdünnte Lösungen von Traubenzucker, Harnstoff (STAEDELER u. A. haben im Gehirn Harnstoff nachgewiesen) oder Hippursäure in 0,7% Kochsalzlösung in die Blutgefässe eines lebenden Frosches ein, so zeigen die peripherischen Nerven und die Muskeln kaum eine Alteration ihrer normalen Lebenseigenschaften. Dasselbe ist von den nervösen Centralorganen bei Einspritzung der Zuckerlösung zu sagen. Dagegen zeigen Harnstoff und Hippursäure, aber in verschiedener Weise, deutliche Einwirkung auf gewisse nervöse Centren. Bei Einspritzung verdünnter Lösungen von Harnstoff und Hippursäure sehen wir bei sonst normalen Fröschen die Reflexe verschwinden. Schneidet man nun rasch das Rückenmark durch, so kehren die Reflexe für den Rumpf zurück. Durch verschiedene Durchschneidungsversuche konnte ich die Wirkung des Harnstoffs und der Hippursäure als lokalisirt auf das SETSCHENOWsche Reflexhemmungscentrum nachweisen. Spritzt man die verdünnte Lösung der beiden Stoffe in 0,7% Kochsalzlösung enthirnten Thieren ein, so verhalten sie sich vollkommen indifferent, die Muskel- und Nervenerregbarkeit, die Reflexerregbarkeit zeigen keine bemerklichen Aenderungen. Hat man dagegen die Einspritzung bei Thieren mit unversehrten nervösen Centralorganen gemacht, so geht, und zwar bei Harnstoff rascher als bei Hippursäure, die Reizung des Reflexhemmungscentrums in eine Lähmung der gesammten Reflexmechanismen des Rückenmarks über, so dass dann nach Durchschneidung des Halsmarks die Reflexe nicht wieder eintreten, obwohl Muskeln und Nervenstämme sowie das Rückenmark auf mechanischen Reiz, noch gut erregbar bleiben. Dabei fand ich bei der Hippursäure auch eine directe Einwirkung auf die Reflexmechanismen im Rückenmark; sie hebt die durch eine vorausgegangene sensible Einwirkung in den Reflexapparaten gesetzte Reflexreizung auf, ohne ihre Reflexerregbarkeit selbst merklich zu verringern.

Kalisalze, Kohlensäure (?), gallensaures Natron wirken, wie es scheint, auch zuerst erregend auf das Reflexhemmungscentrum, führen aber sehr rasch eine Lähmung der peripherischen Reflexmechanismen und des ganzen Rückenmarks herbei, wie sie analog lähmend und die Erregbarkeit herabsetzend auch auf die peripherischen Nerven und Muskeln wirken.

Die Reihe der untersuchten Stoffe ist noch gering, doch geht schon aus den bisher beobachteten Wirkungen derselben hervor, dass der Organismus sich selbst Reize der verschiedensten Art producirt, dass eine Reihe von Lebenserscheinungen, eine Anzahl von Veränderungen der Functionen, z. B. von Hemmungsvorrichtungen auch der nervösen Centralorgane auf wechselnden, chemischen Veränderungen des Inhalts ihrer Zellen beruhe. Merkwürdiger Weise verhalten sich unter Umständen Stoffe (z. B. Harnstoff, Hippursäure) gegen alle Organe direct indifferent, mit Ausnahme einer einzigen Zellengruppe im Gehirn (Reflexhemmungscentrum), von wo aus sie aber ihre Einwirkung auch auf andere Organe (z. B. peripherische Reflexmechanismen) entfalten können. Eine chemische Ursache, die nur auf ein einziges entferntes Organ einwirkt, kann somit der Grund für Umänderungen der Lebenseigenschaften einer ganzen Reihe anderer Organe werden.

Ueber den Wechsel der chemischen Vorgänge in den nervösen Centralorganen bei Ruhe und Thätigkeit liegen bis jetzt zwei bemerkenswerthe Angaben vor. Bei andauerndem Reizungszustande nehmen dieselben bei Fröschen eine saure Reaktion von einer fixen Säure an, während sie im Zustande der Ruhe neutral (schwach alkalisch?) reagiren (FUNKE, J. RANKE). Weiter beobachtete ich, dass bei Fröschen durch andauernde Thätigkeit der Gesammtwassergehalt der nervösen Centralorgane abnimmt. Der Grund dafür liegt darin, dass normal wenigstens die graue Nervenmasse wasserreicher ist als das Blut.

Wird namentlich durch die bei der Thätigkeit des Organes sich ausbildende saure Reaktion das Imbibitionsvermögen der grauen Masse gesteigert (S. 132), so dringen aus dem concentrirteren Blute nach dem Gesetz der Osmose feste Stoffe in die graue Substanz ein und man beobachtet dann eine annähernde Ausgleichung im Wassergehalt zwischen Blut und grauer Gehirnsubstanz. Bei den Diffusionsvorgängen wechseln vor Allem die krystallisirbaren Substanzen organischer und anorganischer Natur ihren Ort; es werden also aus dem Blute vor Allem die krystallisirbaren Zersetzungsprodukte der Gewebe in die graue Gehirnmasse eindringen und hier die ihnen zukommenden, zum Theil oben beschriebenen, Wirkungen entfalten. Bei einem krankhaft im Fieber oder durch übermässiges Essen oder aufreibende Muskelthätigkeit vermehrten Gehalte des Blutes an Harnstoff, Hippursäure, gallensauren Salzen (Icterus) und vor Allem an Kohlensäure und phosphorsaurem Kali, einem Hauptstoffwechselprodukt der Gewebe, werden diese Stoffe ihre physiologische Wirkung auf die nervösen Centralorgane entfalten müssen. Die für die genannten Zustände charakteristischen Alterationen in der Funktion der nervösen Centralorgane erklären sich daher schon jetzt zum Theil aus der Anwesenheit der genannten Stoffe in den nervösen Geweben. Die krankhaften Erregbarkeitsveränderungen der nervösen Centralorgane im Allgemeinen erklären sich zum Theil wie die physiologischen theils aus dem Auftreten einer fixen Säure, welche in geringen Quantitäten die Erregbarkeit vermehrt (auch durch Einwirkung auf die electromotorische Kraft der betreffenden Gewebe), bei gesteigerter Anhäufung aber lähmend wirkt. Jede Veränderung des Wassergehaltes, sowohl Ab- als Zunahme, jede mechanische sowie die meisten chemischen Alterationen wirken ganz in dem gleichen Sinne, erhöhen zuerst die Erregbarkeit und schwächen, resp. vernichten sie in der Folge. Der ärztlichen Forschung steht zur näheren Feststellung dieser Verhältnisse noch ein reiches Gebiet der Thätigkeit offen.

Die Cerebrospinalflüssigkeit reagirt alkalisch, ist sehr arm an festen Bestandtheilen und ohne spontane Gerinnungsfähigkeit. Die festen Bestandtheile stimmen im Allgemeinen mit denen aller nervösen Flüssigkeiten überein. Ausserdem findet sich ein zuckerähnlicher Körper (Hoppe-Seyler u. A.), nach C. Bernard wahrer Zucker. In der Flüssigkeit eines Hydrocephalus acutus fand C. Schmid 1,32% feste Stoffe und darunter eine reichliche Menge von Kalisalzen.

Hier sind noch die **Circulationsverhältnisse** der nervösen Centralorgane, namentlich **des Gehirnes**, zu erwähnen. Die normale Thätigkeit dieser Organe ist, wie wir sahen, von dem normalen Fortgang der Circulation des Blutes in ihnen in hohem Maasse abhängig. Die Folgen der Anämie, der venösen Stauung im Gehirn wurden oben angedeutet; gegen jede Veränderung des Blutdrucks, sowohl Ab- als Zunahme (Anämie und Hyperämie), ist das Gehirn empfindlich. Es sind Vorrichtungen vorhanden, den Blutdruck im Gehirn und Rückenmark möglichst konstant zu erhalten. Der Circulus Willisii schützt, indem sich in ihm die vier grossen Hirnarterien verbinden, das Gehirn vor plötzlicher Unterbrechung oder Schwächung der Circulation, z. B. durch Kompression oder Verschluss eines der zuführenden Gefässe. Die blutreiche Schilddrüse stellt (Liebermeister) ein Blutreservoir dar, welches Blutdruckveränderungen im Gehirne verhindert, welche vor Allem beim Aufrichten aus horizontaler Lage eintreten könnten und bei sehr raschen Stellungsveränderungen auch trotzdem eintreten. Die Schilddrüse wirkt dabei als selbsteuerndes Ventil für die Blutzufuhr; indem sie bei stärkerer Blutcongestion gegen den Kopf anschwillt, komprimirt sie mehr und mehr die Carotiden, und kann sie unter Umständen, z. B. bei sehr gesteigerter Muskelanstrengung sogar pulslos machen (Guyon, Maignien). Den gewöhnlichen vom Herzen und von der Athmung ausgehenden Druckschwankungen scheinen die Gehirngefässe der Erwachsenen normal nicht unterliegen zu können. Ihnen entsprechend sehen wir aber das bekannte Pulsiren des Gehirnes bei neugeborenen Kindern mit offenen Fontanellen, dasselbe tritt nach Abfluss der Cerebrospinalflüssigkeit oder Trepanation des Schädels bei Erwachsenen ein. Das Gehirn füllt mit dem Liquor cerebrospinalis die Schädelkapsel vollkommen aus, so dass, da diese

Substanzen so gut wie inkompressibel sind, normal keine Bewegungen möglich scheinen. Doch schliesst H. Quincke aus seinen Zinnobereinspritzungen, bei denen er freie Fortbewegung des Zinnobers konstatirte, auf eine auf- und absteigende Strömung der Cerebrospinalflüssigkeit im Leben vom Rückenmark zum Gehirn und in geringerem Grade in umgekehrter Richtung. Er hält an der von Magendie und Ecker beobachteten auf- und abgehenden respiratorischen Bewegung der Cerebrospinalflüssigkeit fest. Als Abflusswege des Liquor cerebrospinalis betrachtet er die Austrittsstellen der Nerven aus Hirn- und Rückenmarkshöhle und wie A. Key und Retzius die Pachioni'schen Granulationen.

Schlaf. — In den physischen Centralorganen bildet sich durch Uebermüdung endlich unwiderstehlich der Zustand des Schlafes aus, durch ein Aufhören oder eine sehr bedeutende Minderung der Seelenaktionen charakterisirt. Die letzte chemische Ursache des Schlafs ist noch unbekannt. Man spricht gewöhnlich von einer stärkeren Venosität des Blutes. Dass wir es mit chemischen Einwirkungen zu thun haben, beweist, wie es scheint, der Eintritt des Schlafes bei künstlicher chemischer Veränderung des Blutes, z. B. durch Morphium, Alkoholeinführung. An den von J. Ranke entdeckten Ermüdungsstoffen der Muskeln und Nerven hat W. Preyer auch schlafmachende Wirkungen beobachtet. Namentlich milchsaures Natron, subcutan injicirt oder vom Magen aus (auch saure Milch, concentrirte Zuckerlösungen), sollen Schlaf machen. Automatische und reflektorische Thätigkeiten haben im Schlaf ihren Fortgang. Der Stoffwechsel scheint etwas vermindert. Während des Schlafs soll eine gewisse Anämie des Gehirns vorhanden sein. Der Schlaf tritt ein, wenn keine oder nur sehr geringe sensible Erregungen von aussen her dem Gehirn zugeleitet werden. (Die Augen im Schlafe cf. oben S. 807). E. Heubel erklärt das Experimentum mirabile Kircher's gegen Czermak und Preyer für bedingt durch Einschlafen des mittelst sanften Drucks auf den Rücken gelegten Thiere (Hühner, Tauben, aber namentlich leicht nachweisbar bei Fröschen). Der wache Zustand des Gehirns ist von der Erregung der Empfindungsnerven abhängig. Beim Liegen auf dem Rücken gelangen zum Gehirn Tastempfindungen nur von der Rückenhaut her, wo die Tastempfindung am wenigsten entwickelt ist.

Die Nerven und der Bau der nervösen Centralorgane.

Der Faserverlauf im Gehirn hat oben S. 964 nach Meynert schematische Darstellung gefunden. Die physiologisch-anatomischen Erfahrungen über den Zusammenhang der Nervenfasern und Ganglienzellen an Gehirn und Rückenmark, sowie über den Faserverlauf im Rückenmark, sollen an dieser Stelle noch besprochen werden. Die gröberen anatomischen Einzelheiten setzen wir hier wie im Vorstehenden als bekannt voraus.

Neuroglia. In den nervösen Centralorganen werden die Nervenzellen und Fasern getragen durch eine zarte, spongiöse Bindesubstanz. Die Kenntniss der Bindesubstanz in den nervösen Centralorganen ist wichtig, weil bei allen Fragen über den Bau des Rückenmarkes und Gehirnes zuerst die Vorfrage gelöst sein muss, was ist in den nervösen Centralorganen als eigentlich nervös aufzufassen, was nicht? Das Bindegewebe der weissen Substanz des Rückenmarks, Neuroglia (Gerlach), haben wir uns als ein spongiöses Netzwerk breiterer und feinerer Bälkchen zu denken, in dessen Maschen die Nervenfasern eingelagert sind. Die Bälkchen hängen mit einer die weisse Masse des Rückenmarks umlagernden Bindegewebsschicht, Rindenschicht Bidder mit meist circulär verlaufender Faserung zusammen, welche auch, aber ziemlich locker, mit der Pia mater verbunden ist. Die Rindenschicht, sowie die Mitte

der von derselben abgehenden Bälkchen zeigt den Bau eines zarten, gewöhnlichen fibrillären Bindegewebes, einzelne elastische Fasern finden sich eingelagert, sowie zellige Elemente mit deutlichem Kern und zuweilen verzweigten Ausläufern. An den äusseren Grenzen der Bälkchen, in unmittelbarer Nähe der spongiösen Lücken findet sich eine feinkörnige oder nach WALTHER structurlose Substanz, modificirtes Bindegewebe, welche sich zwischen die in den Lücken des Balkennetzes meist vertikal verlaufenden Nervenfasern einschiebt und dieselben gleichsam mit Scheiden umgibt. In der Grundsubstanz verlaufen nach allen Richtungen ausserordentlich feine elastische Fasern, welche sich netzartig durch einander schieben. Auch diese eigentliche Neuroglia schliesst Bindegewebszellen ein, die an verschiedenen Stellen verschieden dicht liegen. Sie zeigen alle Uebergänge vom protoplasmalosen Zellkern bis zur reichlich verästelten Bindegewebszelle. Die Hinterstränge des Rückenmarks sind etwas reicher an Bindegewebe als die sich hierin ziemlich gleich verhaltenden Vorder- und Seitenstränge, welche letztere nur da, wo sie an die graue Substanz angrenzen, etwas mehr davon erkennen lassen. Die Neuroglia der grauen Rückenmarksmasse hängt mit der der weissen continuirlich zusammen, sie zeigt im Allgemeinen das zuletzt geschilderte Verhalten. Die Ausläufer ihrer Zellen sollen mit fadenförmigen Ausläufern der Epithelzellen des Centralkanals zusammenhängen (BIDDER, KUPFER, CLARKE u. A.), nach GOLGI treten Ausläufer der Zellen in ziemlicher Zahl an die Gefässwände. Auch im grossen und kleinen Gehirn zeigt das Bindesubstanzgerüst eine analoge Anordnung und Bau wie im Rückenmark. Die verästelten Zellen der Bindesubstanz der nervösen Centralorgane haben oft Veranlassung zu Verwechselungen mit Nervenzellen gegeben. Die grösste Zahl der verästelten Bindegewebszellen finden sich direct auf der Oberfläche des Gehirns (GOLGI).

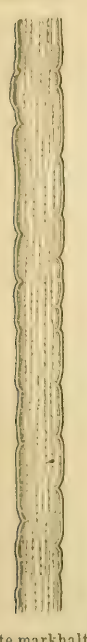
Nach O. DEITERS wären nur diejenigen Zellen als eigentlich nervös anzusehen, welche mit unzweifelhaften Nervenfasern zusammenhängen. Doch neigt sich DEITERS dazu, die bindegewebigen Elemente nicht so absolut von den nervösen zu trennen, als wäre dadurch, dass man ein Gebilde für Bindesubstanz erklärt, sein möglicher Zusammenhang mit den nervösen Functionen des Organes schon abgeschnitten. Erinnern wir uns nur daran, dass bei den äusseren Sinnesapparaten sich als Endorgane der Nerven Gebilde finden, welche wie die Stäbchen und Zapfen der Retina, die CORTI'schen Fasern der Schnecke offenbar auch als nicht rein nervöser Natur betrachtet werden müssen. Die Untersuchung der Bindesubstanz der Centralorgane ist noch zu wenig vollständig, als dass wir schon jetzt mit aller Sicherheit die vollkommene Abwesenheit ähnlicher, in ihnen gelegener, innerer centraler Sinnesapparate behaupten könnten.

In die Neuroglia sind die unzweifelhaft nervösen Elemente der Centralorgane eingelagert, die Nervenfasern und Nervenzellen.

Die Nervenfasern (cf. oben Cap. XX). Die einfachste Form aller im Organismus sich findenden Nervenfasern (M. SCHULTZE) stellen die Nervenprimitivfibrillen dar, es sind fast unmessbar feine Fäserchen, welche massenhaft in den Centralorganen und in der Nähe der peripherischen Enden der Nerven vorkommen, eine innere Structur ist an ihnen nicht mehr nachzuweisen, sie gehen direct aus dickeren Nervenfasern hervor. In den Centralorganen findet sich

sehr verbreitet eine zweite Faserart, welche sich von der ersten wesentlich durch grössere Dicke unterscheidet: die nackten Axencylinder, nach M. Schultze: Primitivfibrillenbündel. Chemisch weisen sie einen Gehalt an Eiweissstoffen auf, mikroskopisch eine Zusammensetzung aus Primitivfibrillen, verbunden durch eine körnige Zwischenmaterie. Am deutlichsten zeigt sich diese Structur an den dicken verästelten Fortsätzen grösserer centraler Ganglienzellen und an deren Axencylinderfortsätzen. Sowohl die einzelnen Primitivfibrillen, wie die Fibrillenbündel können eine Markscheide auf ihrer Oberfläche erhalten, wodurch wieder neue Formen, sogenannte dunkelrandige Nerven, gebildet werden. Das Nervenmark, im Leben homogen und fast flüssig, gerinnt nach dem Tode zu einer körnig trüben Masse. Den centralen Nervenfasern ersetzt die Neuroglia (Gerlach) den Mangel einer gesonderten Hülle, bei den markhaltigen Nervenfasern der peripherischen Nerven findet sich dagegen, mit einziger Ausnahme vielleicht des Nervus opticus und acusticus, ausserhalb der Markscheide noch eine bindegewebige Hülle, die Schwann'sche Scheide, das Neurilemma, entweder structurlos, mit eingelagerten Kernen, dem Sarcolemma der Muskelfasern entsprechend, oder aus mehreren Schichten faserigen Bindegewebes zusammengesetzt (Fig. 254). Innerhalb der Markscheide zeigt sich bei den dunkelrandigen Nerven als Axencylinder entweder eine einzelne Nervenfibrille oder ein Fibrillenbündel. Die Dicke der Axencylinder kann sehr verschieden sein, ebenso schwankt die Dicke der dunkelrandigen Nervenfasern im Ganzen sehr bedeutend. Eine andere Art von peripherischen Nerven besitzt Axencylinder und Schwann'sche Scheide, aber keine Markscheide. Hierher gehören sämmtliche Verzweigungen des Olfaktorius in der Nasenschleimhaut der Wirbelthiere, auch im Sympathikus finden sie sich häufig, in seinen Eingeweideästen wiegen sie meist vor, man bezeichnet sie als Remak'sche Fasern.

Fig. 254.



Breite markhaltige Nervenfaser frisch aus dem Gehirn des Zitterrochen, in deren Innern sich die Structur des Axencylinders erkennen lässt.

Wir unterscheiden sonach mit M. Schultze folgende 6 Arten der Nervenfasern:

1) Nackte Primitivfibrillen, 2) nackte Primitivfibrillenbündel, 3) Primitivfibrillen mit Markscheide, 4) Primitivfibrillenbündel mit Markscheide, 5) Primitivfibrillenbündel nur mit Schwann'scher Scheide (Remak'sche Fasern, marklose Nervenfasern im Sympathikus, Olfaktorius und bei den meisten wirbellosen Thieren), 6) Primitivfibrillenbündel mit Markscheide und Schwann'scher Scheide (die dunkelrandigen Nervenfasern, die Hauptmasse der cerebrospinalen Nerven).

Theilung der Nervenfasern. Sehr gewöhnlich theilen sich die Nervenfasern in der Nähe ihres peripherischen und centralen Endes, in den Nervenstämmen ist die Theilung selten. Mit Ausnahme der Primitivfibrillen, der letzten Elemente der Nervenfasern, kann die Theilung alle Gattungen von Nervenfasern treffen. Die Ausläufer vieler multipolarer Ganglienzellen erscheinen als getheilte und verästelte Primitivfibrillenbündel, auch die mark-

losen Fasern des Olfaktorius zeigen vielfältige Theilungen. Am bekanntesten war bisher die Theilung der markhaltigen Fasern, sie entsenden die Zweige entweder dichotomisch oder als einen Busch (Nervenendbusch bei den Muskelnerven) von wieder dunkelrandigen Nervenfasern, alle Bestandtheile der Nervenfaser setzen sich auf ihre Zweige fort. An der Theilungsstelle selbst ist meist das Nervenmark vermindert, der Nerv erscheint daher hier eingeschnürt, an den Zweigen tritt das Mark wieder mächtiger auf. Die Theilung der fibrillären Axencylinder besteht in einer allmählig fortschreitenden Isolation der sie zusammensetzenden Primitivfibrillen (M. Schultze). Die Schwann'sche Scheide schwindet an den peripherischen Endausbreitungen der Nerven, meist vorher schon die Markscheide, und die Axencylinder zerspalten sich in der Mehrzahl der Fälle endlich in ihre einzelnen, nun selbständig verlaufenden Primitivfibrillen (M. Schultze), welche sich, wie wir gesehen haben, jede einzelne meist mit einem besonderen Endapparat verbinden. In manchen Fällen (wie bei den Muskelnerven) scheint bis jetzt dagegen der Axencylinder noch als ziemlich dickes Bündel zu endigen.

Die Nervenzellen haben wir, wie die Nervenfasern, bei der allgemeinen Darstellung der Gewebszellen schon besprochen (S. 36, Fig. 40). Hier haben wir noch einiges Specielle nachzutragen.

Der Körper der meisten Ganglienzellen des Rückenmarks läuft, wie a. a. O. erwähnt (über die Zellen der peripherischen Ganglien cf. bei Sympathikus) in eine mehr oder weniger grosse Zahl von Fortsätzen aus, welche sich mannigfach in langen Zügen und oft wiederholten Theilungen verästeln, und in welche sich das Protoplasma ohne Unterbrechung direct hinein verfolgen lässt, sie lösen sich zuletzt in unmessbar feine Fäserchen auf. Deiters nennt diese Fortsätze: Protoplasmafortsätze, M. Schultze: verästelte Fortsätze. Vor diesen zeichnet sich ein einzelner, immer unverästelter Fortsatz aus, der entweder von dem Körper der Zelle oder seltener von der Wurzel eines der grösseren Protoplasmafortsätze entspringt: Nervenfaser oder Axencylinderfortsatz, in seinem weiteren Verlauf umgibt er sich mit einer Markscheide. Er findet sich nicht nur an den grossen, sondern auch an den kleinen Ganglienzellen des Rückenmarks, in der Olive, der Brücke, auch an Zellen des grossen Gehirnes. Deiters beschreibt, wie von vielen Protoplasmafortsätzen grösserer und kleinerer Zellen eine Anzahl sehr feiner, leicht zerstörbarer Faser abgehen. Er hält sie für Nervenfibrillen, mit denen sie Ansehen und physikalisch-chemisches Verhalten gemein haben. Sie verästeln sich noch zuweilen. An einigen konnte im weiteren Verlaufe eine dunkelrandige Contour, die sie als feinste markhaltige Nervenfasern charakterisirt, erkannt werden.

So erscheinen denn diese Ganglienzellen als Centralpunkte für zwei Systeme echter Nervenfasern, einer meist breiteren, immer einfachen und ungetheilten Faser (Fibrillenbündel) und eines zweiten Systemes feinster Fäserchen, die aus den Protoplasmafortsätzen hervorgehen.

Das Protoplasma der Ganglienzellen erscheint nach M. Schultze in der ganzen Dicke der Zellen feinkörnig und fibrillär (Fig. 255). Der Axencylinderfortsatz zeigt ebenfalls eine fibrilläre Structur, auch die Protoplasmafortsätze bestehen

Fig. 255.



Eine der mittelgrossen Ganglienzellen aus dem vorderen Horn des Rückenmarkes vom Kalb, bei 600facher Vergrösserung nach kurzer Maceration in Jodserum isolirt. Die Fortsätze sind zum Theil kurz abgerissen, wie die drei unteren mit *b* bezeichneten; *a* Axencylinderfortsatz

aus Fibrillen, doch ist bei ihnen die interfibrilläre körnige Masse stärker vertreten. Die Fibrillen der Fortsätze stehen mit den Fibrillen des Zellenprotoplasmas in directem Zusammenhang. Die fibrilläre Structur der Zellensubstanz zeigt sich am deutlichsten in der Rinde der Ganglienzellen, direct um den Kern scheint nur feinkörnige Masse zu liegen. Der Verlauf der Fibrillen innerhalb der Ganglienzellen ist sehr verwickelt. Von jedem Fortsatz aus treten sie divergirend ein und bilden ein Gewirr sich unregelmässig durchkreuzender Fäserchen (Fig. 255). Bei der Beobachtung der grossen Zellen aus dem Gehirne des Zitterrochens wurde es M. Schultze wahrscheinlich, dass die ganze Fibrillenmasse, welche die Ganglienzellen aufbaut, dieselbe nur d u r c h s e t z t. Vielleicht ist also die Ganglienzelle, aus welcher ein Axencylinder entspringt, nur insofern das Anfangsorgan desselben, als ihm die ihn zusammensetzenden Fibrillen auf dem Wege der verästelten Fortsätze der Ganglienzellen zugeführt werden. Die Fibrillen, welche man die Ganglienzellen durchziehen sieht, würden nach dieser Annahme in der Zelle nicht (wenigstens nicht der Mehrzahl nach) ihren Ursprung nehmen, sondern in derselben nur eine U m l a g e r u n g erfahren zur Zusammensetzung des Axencylinderfortsatzes und Ueberleitung in andere verästelte Protoplasmafortsätze. Nach der oben gegebenen Darstellung Meynert's müssten dagegen auch viele Fasern, d. h. Fibrillenbündel, in

den Ganglienzellen enden, andere entspringen, da durch die Ganglien theils Verminderung, theils Vermehrung der Faseranzahl erfolgt.

Die Ganglienzellen des Gehirnes. Auch an den Nervenzellen der grauen Substanz des Grosshirns (Hirnrinde) sah Gerlach je einen Axencylinderfortsatz, welcher, ohne sich zu verästeln, direct zur Axenfaser einer markhaltigen Nervenfaser wird, ob alle Nervenzellen dieser Region einen solchen Deiters'schen Fortsatz haben, lässt er unentschieden. An den Ursprungsstellen der Hirnnerven fand Deiters selbst den Rückenmarkszellen vollkommen entsprechende Formen. Aus einer Anzahl von Ganglienzellen des Gehirnes sind peripherisch verlaufende Nervenfasern nicht direct ableitbar, z. B. von den retortenförmigen Ganglienzellen in der Rinde des kleinen Gehirnes. Nach Deiters haben dieselben verästelte Fortsätze und einen unpaaren, der weissen Substanz des kleinen Gehirnes zugerichteten Fortsatz, dieser zeigt nach Gerlach aber auch Verästelungen, so dass er dem Axencylinderfortsatz der Rückenmarksganglienzellen nicht zu entsprechen scheint.

M. Schultze und Kölliker haben deutliche fibrilläre Structur auch an diesen Zellen und ihren Fortsätzen nachgewiesen, ebenso an den Zellen der grauen Rinde des grossen Gehirns. Nach Meynert und Arndt zeigen diese annähernd kegelförmig gestalteten Zellen einen dickeren peripherischen, sich erst später verästelnden (M. Schultze) Fortsatz, von der Spitze der Zelle ausgehend und eine grössere Zahl verästelter Fortsätze, welche gegen die weisse Substanz gerichtet sind. Die Zellen des Pes hippocampi major zeigen ganz analoge Verhältnisse (M. Schultze). Gerlach macht neuerdings, wie wir noch unten besprechen werden, auch für das Rückenmark das Vorkommen von Ganglienzellen ohne Axencylinderfortsatz wahrscheinlich, er konnte einen solchen an den Zellen der Clarke'schen Säulen niemals auffinden, so dass also auch im Rückenmarke zweierlei verschiedene Ganglienzellenformen vorkommen, von denen die eine nur Protoplasmafortsätze besitzt.

Im Gehirne findet sich aber, ausser den geschilderten grösseren, noch eine enorme Anzahl kleinerer Zellen, deren Kerne nur von wenig Protoplasma umlagert wird. Zum Theil senden sie nervöse Fortsätze aus und charakterisiren sich dadurch als wahre Nervenzellen, es scheinen unter ihnen multipolare, bipolare und unipolare vorzukommen. Im kleinen Gehirne bilden sie dicke Lagen, ihre Ausläufer werden zu feinsten Fibrillen.

In der grauen Substanz der Windungen des menschlichen Grosshirns existirt eine doppelte Art des Nervenfaserursprungs (Rindfleisch, Gerlach). Die markhaltigen Nervenfasern, welche aus der weissen in die graue Masse des Grosshirns eintreten, verlaufen zu Bündeln geordnet theils radiär bis an die Hirnoberfläche, theils horizontal und bilden ein grobmaschiges Netzwerk, in dessen Lücken die Nervenzellen liegen. Ausser diesen Zellen zeigt sich in den Lücken, ganz dem Befunde im Rückenmark (Gerlach) entsprechend, ein zweites äusserst feines Netz feinster, nicht mehr markhaltiger Nervenfasern. Nach Gerlach gehen diese feinsten Fasern aus den Verästelungen der Protoplasmafortsätze der Nervenzellen hervor, andererseits entwickeln sich aus diesem Netze breitere und sich bald mit Mark umgebende Nervenfasern, welche dann in das erstgenannte grossmaschige Netz markhaltiger Nervenfasern eintreten. Rindfleisch

glaubt, dass zwischen den Anfängen des zweiten feinsten Netzes und den Endigungen der Protoplasmafortsätze der Nervenzellen eine feinkörnige Masse eingeschoben sei; Gerlach gelang es, die Continuität des feinsten Netzes bis zu den Fortsätzen der Zellen festzustellen. Für die feinsten Nervenfibrillen selbst im Gehirn und Rückenmark, welche nach der gegebenen Darstellung in die Ganglienzellen fertig gebildet eintreten, können wir nach der Hypothese M. Schultze's annehmen, dass wenigstens eine Anzahl von ihnen aus diesen kleinen, zum Theil unipolaren Ganglienzellen hervorgehen. Für einen anderen Theil der Fibrillen wäre vielleicht noch an dem vielfach behaupteten Ursprung aus grösseren Ganglienzellen festzuhalten, und zwar haben wir Angaben, dass ihr centrales Ende in der Zellsubstanz oder im Kern oder im Kernkörperchen zu suchen sei. Eine dritte Fibrillengattung hat nach der Vermuthung M. Schultze's gar kein centrales Ende im Gehirn und Rückenmark, sie entspringen vielleicht an der Peripherie, durchsetzen die Ganglienzellen und kehren auf neuen Bahnen zur Peripherie zurück. Auf ihrem Wege zur Peripherie oder zum Centrum erfahren dann diese Fibrillen, indem sie durch multipolare Ganglienzellen hindurchtreten, neue Umlagerungen und Anordnungen; andere enden oder entspringen in Ganglienzellen. Bipolare Ganglienzellen sind wesentlich nichts anderes als kernhaltige Anschwellungen des Axencylinders.

Die multipolare Ganglienzelle ist also nach M. Schultze vorwiegend ein Knotenpunkt zahlloser, aus den verschiedensten Regionen des Nervensystems stammender Einzelfibrillen. Die Fibrillen der Protoplasmafortsätze verlaufen theils central (zur Zelle), theils peripherisch (von der Zelle weg). Auf der Bahn der Protoplasmafortsätze verlaufen zur Zelle Fibrillen sehr verschiedener Abstammung. Eine Auswahl aus diesen verläuft in ein Bündel zusammengefasst als Axencylinderfortsatz zur Peripherie, die übrigen ziehen auf dem Wege der verästelten Fortsätze andere noch unbekannte Wege.

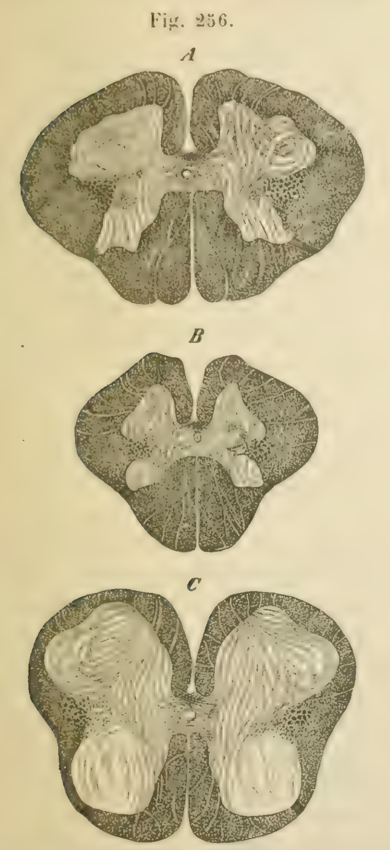
Directe Communication der Nervenzellen durch dickere Fasern kommt nach den Angaben älterer Autoren vereinzelt vor, doch relativ selten; J. Carrier hat dagegen unter Kollmann's Leitung aus den Vorderhörnern des Rückenmarks (vom Kalb) solche Verbindungen zahlreich erhalten und sucht das bisherige Misslingen ihres Nachweises nur in der Schwierigkeit der Präparationsmethoden. Das physiologische Postulat des Zusammenhangs der Ganglienzellen unter sich wurde, wie wir unten sehen werden, noch auf eine andere Art gelöst.

Faserverlauf im Rückenmark. Bekanntlich sind im **Rückenmarke** die nervösen Elemente im Grossen so angeordnet, dass eine weisse, abgesehen vom Bindegewebe, aus Nervenfasern bestehende Substanz auf dem Querdurchschnitt gleichsam als Rinde einen grauen, die Ganglienzellen enthaltenden Kern umkleidet, welcher, ziemlich in der Mitte vom Centralcanal des Rückenmarkes durchbohrt, von vorn und hinten je zwei graue Fortsätze in die weisse Masse hinein sendet, die als Hörner und zwar als Vorder- und Hinterhörner beschrieben werden (Fig. 256).

Die weisse Substanz des Rückenmarks wird der Länge nach in zwei seitliche Hälften getheilt, welche wieder je in drei Stränge gespalten werden. Die Theilung in Seitenhälften ist eine natürliche, sie entspricht der Fissura anterior, die das Rückenmark spaltet und in welche sich ein Fortsatz der Pia mater einsenkt. Im Grunde der Spalte befindet sich die sogenannte weisse oder vor-

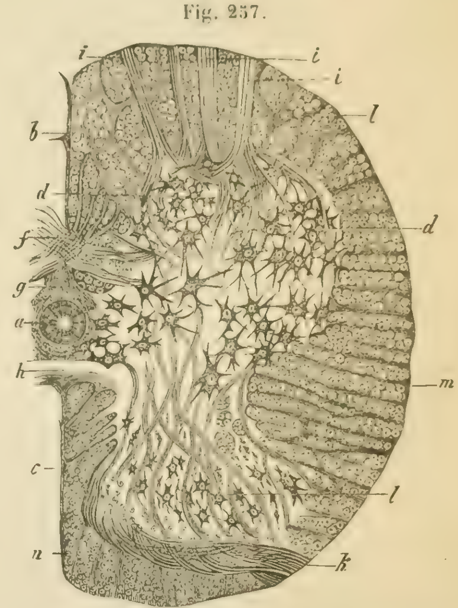
dere Kommissur. Die Spaltung der dadurch gebildeten beiden Hälften in weitere Stränge: Vorderstrang, Seitenstrang, Hinterstrang ist eine mehr künstliche. Die Entwickelungsgeschichte kennt nur zwei Stränge, den Vorder- und Hinterstrang, der Seitenstrang gehört grösstentheils zu dem Vorderstrange. Am ganzen Halstheil der Hinterstränge finden sich noch zwei dunklere keilförmige Mittelstreifen: die GOLL'schen Keilstränge. Die beiden Hinterstränge werden bis zum grauen Kerne herab durch Bindegewebe und

Fig. 256.



Querschnitt aus verschiedenen Höhen des Rückenmarks eines halbjährigen Kindes. Vergr. 8. *A* Aus der Mitte der Halsanschwellung. *B* Aus der Mitte des Brusttheils. *C* Aus der Mitte der Lendenanschwellung.

Fig. 257.

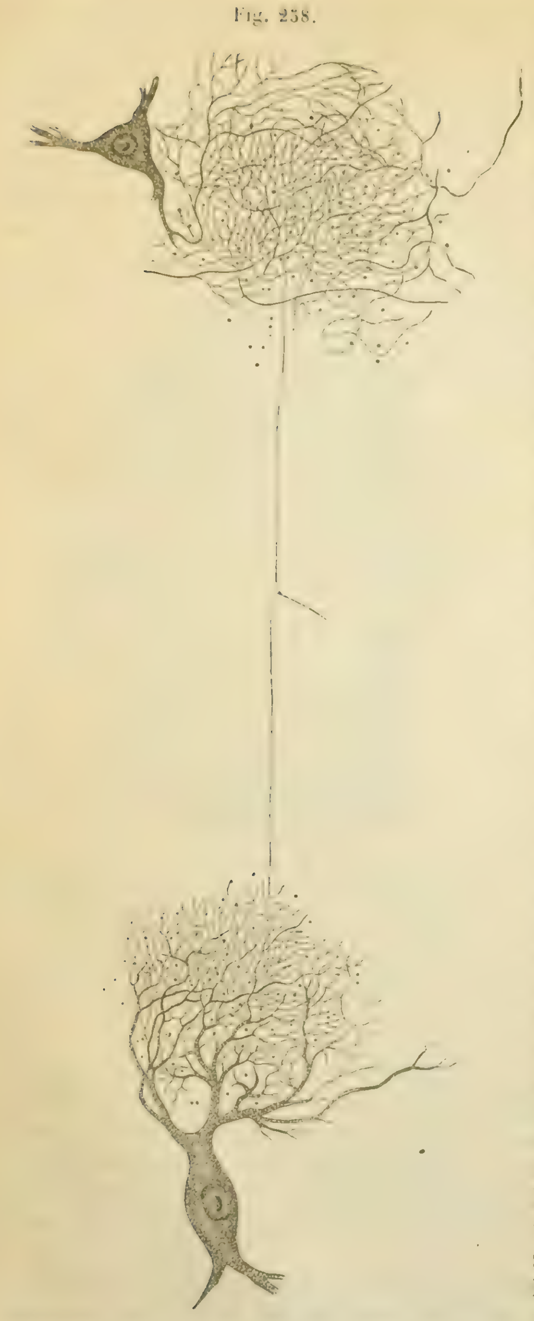


Querschnitt durch die untere Hälfte des menschlichen Rückenmarks (nach DEITERS). *a* Centralcanal; *b* Fissura anterior; *c* F. post.; *d* Vorderhorn mit den ansehnlichen Ganglienzellen; *e* Hinterhorn mit kleineren; *f* vordere weisse Kommissur; *g* Gerüstsubstanz um den Centralcanal; *h* hintere graue Kommissur; *i* Bündel der vorderen und *k* hintere Spinalwurzel; *l* vorderer, *m* seitlicher und *n* Hinterstrang.

Blutgefässe von einander getrennt. Eine wahre hintere Längsspalte existirt beim Menschen nur an der Lendenanschwellung und der oberen Cervikalgegend. Die Fasern der weissen Substanz lassen einen verschiedenen Verlauf erkennen. Man findet horizontal, senkrecht und schief verlaufende Fasern.

Der grösste Theil des Rückenmarkes wird von den senkrecht laufenden Nervenfasern gebildet. Sie streichen an der Oberfläche einander parallel, in den tieferen Schichten verflechten sie sich mehr unter einander und bilden feine Bündel. Das quantitative Verhältniss der weissen zur grauen Substanz ist in den verschiedenen Abschnitten des Rückenmarks ein wechselndes

Fig. 258.



Eine sich theilende Nervenfaser, deren beide Aeste mit dem Nervenfasernetz, welches mit zwei Nervenzellen in Verbindung steht, zusammenhängen. Karminammoniakpräparat aus dem Rückenmark des Ochsen. Vergr. 150.

Fig. 256). Die lokalen Anschwellungen des Rückenmarks im Nacken- und Lendentheile kommen allein auf Rechnung der grauen Substanz; dagegen nimmt unverkennbar die Masse der weissen Substanz von unten nach oben continuirlich zu; an dem Uebergang der Rückenmarksspitze in das Filum terminale fehlt die weisse Substanz fast gänzlich (Gerlach). In der weissen Substanz finden sich starke und mittelstarke Nervenfasern mit Axencylinder und Markscheide, eine eigentliche Schwann'sche Scheide mangelt (cf. S. 1004). Die Fasern der motorischen vorderen Wurzeln der Rückenmarksnerven sind meist viel breiter als die der hinteren sensiblen Wurzeln. Ein analoger Unterschied besteht zwischen den Fasern der Vorder- und Hinterstränge des Rückenmarks.

Es zeigt sich eine bedeutende, konstante Verschiedenheit der Nervenzellen in der grauen Substanz bezüglich ihrer Grösse. Die grössten Zellen finden sich in den vorderen Hörnern (Fig. 257). An der Aussenseite der vorderen Enden der Hinterhörner findet sich im ganzen Brusttheile des Rückenmarkes ein deutlich abgegrenzter rundlicher Ganglienzellenhaufen, die Clarke'sche Säulen oder Stilling'sche Kerne genannt werden. Diese Zellen sind etwas kleiner als die bisher besprochenen. Von ihnen sowie von den kleinen, echten Nervenzellen, die sich in der grauen Masse zerstreut sehr zahlreich vorfinden, war oben die Rede.

Die graue Substanz enthält ausser den Zellen noch eine grosse Anzahl von Nervenfasern, die nach

Kölliker mindestens die Hälfte der ganzen Masse ausmachen, nach Gerlach die Hauptmasse bilden.

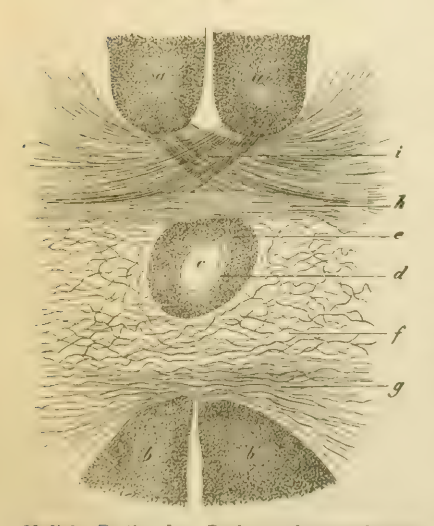
Die Nervenfasern der grauen Masse sind theils nackte, theils mit Markscheide versehene Axenfasern, theils sind es nackte Nervenfibrillen von fast unmessbarer Feinheit. Bemerkenswerth ist für die stärkeren Nervenfasern der grauen Masse ihre sehr häufige, an einer Faser wiederholt eintretende Theilung, wodurch sie feiner und feiner werden, bis aus ihnen fast unmessbar feine Fibrillen hervorgehen, welche zu engmaschigen Netzen zusammentreten, die neben den Nervenzellen den charakteristischen Bestandtheil der grauen Masse ausmachen (Gerlach). Umgekehrt kann man sehen, dass aus diesem feinsten Nervenfasernetze wieder breitere Fasern hervorgehen, welche mit anderen zu noch breiteren sich vereinigen. Diese durchsetzen die graue Masse und gelangen in die weisse Substanz der Stränge oder schliessen sich an die in den Hinterhörnern vorhandenen, aus mittelbreiten Nervenfasern bestehenden Faserzüge an (Fig. 258). Nach Gerlach hängen diese feinsten Fasernetze mit den Protoplasmafortsätzen der Ganglienzellen zusammen, diese lösen sich direct in die Fibrillen der Netze auf, welche sonach eine Vereinigung der Zellen unter einander und einer Anzahl von Nervenfasern unter sich und mit den Zellen vermitteln.

Gerlach machte auf einen durchgreifenden morphologischen Unterschied für die physiologisch verschiedenen Gattungen von Wurzelfasern des Rückenmarkes aufmerksam. Die aus den Nervenzellen der Vorder- und Hinterhörner hervorgehenden Axencylinderfortsätze treten, wie es sehr wahrscheinlich ist, alle in die vorderen, motorischen Wurzeln ein, die aus dem feinen Nervennetze der grauen Substanz hervorgehenden dickeren Fasern, welche durch das Netz mit den Protoplasmafortsätzen der Zellen in Verbindung stehen, treten in die hinteren, sensiblen Wurzeln ein. Die Zellen, welche Axencylinderfortsätze und Protoplasmafortsätze besitzen, hängen also auf doppelte Weise mit den nervösen, faserigen Elementen des Rückenmarks zusammen, erstens durch den Axencylinderfortsatz, welcher zum Axencylinder vorderer Wurzelfasern wird, und zweitens durch die feinsten Verästelungen der Protoplasmafortsätze, welche sich in das feine Nervenfasernetz der grauen Substanz auflösen, aus welchem dann wieder dickere Fibrillenbündel und endlich dunkelrandige Nervenfasern hervorgehen.

Für die physiologische Auffassung von Wichtigkeit scheint auch die schon oben erwähnte Beobachtung einer zweiten Nervenzellenart im Rückenmark. An der Mehrzahl der Zellen lässt sich, wie gesagt, der Deiters'sche Axencylinderfortsatz nachweisen; an den mittelgrossen Zellen der auf den Brusttheil des Rückenmarks beschränkten Zellenlage der Clarke'schen Säulen findet dagegen Gerlach, wie in der Mehrzahl der Ganglienzellen des Gehirns, keine Axencylinderfortsätze, nur Protoplasmafortsätze, vielleicht finden sich auch noch an anderen Orten des Rückenmarks solche Zellen zweiter Art eingestreut. Von diesen beiden morphologisch verschiedenen Arten von Nervenzellen hängen sonach die einen direct mit den vorderen Wurzeln und mit dem Nervenfasernetze der grauen Substanz zusammen, die anderen stehen direct nur mit dem letzteren in Verbindung. Man hat früher auf die Unterschiede in der Grösse und

Lage der Zellen in den vorderen und hinteren Strängen eine Theorie über die verschiedene physiologische Bedeutung der Zellen gründen wollen; JACUBOWITZSCH erklärte die grossen Zellen der Vorderhörner für motorische, die kleinen der Hinterhörner für sensible Nervenzellen. Nach den Angaben GERLACH's sehen wir die Axencylinderfortsätze der Zellen, sowohl der Hinter- als der Vorderhörner, nur in die vorderen Wurzeln eintreten, und er bemerkt mit Recht, dass die Unterscheidung in sensible und motorische Zellen im Rückenmarke der allbekannten Thatsache widerspricht, dass in dem von der Medulla oblongata getrennten Rückenmark weder die Bedingungen zum Zustandekommen von willkürlicher Bewegung noch von wahrer Empfindung vorhanden sind. Das Rückenmark zeigt, wie wir sahen, nur reflektorische und automatische Thätigkeiten, und wir dürfen wohl vermuthen, dass an je eine der beiden morphologisch verschiedenen Zellenarten eine der beiden physiologischen Funktionen geknüpft sei. Die wichtigere Reflexthätigkeit dürfen wir wohl den weit zahlreicher vertretenen Zellen erster Art zutheilen, für die automatische Thätigkeit würden dann die Zellen ohne Axencylinderfortsatz nur mit Protoplasmafortsätzen bleiben. Im Centrum der Nervennetze gelegen, erscheinen sie besonders geeignet, in ihnen irgendwie entstandene Reizzustände auf Nachbarzellen zu übertragen, während zur Hervorrufung von Reflexbewegungen nach der Theorie M. SCHULTZE's die aus den sensiblen Wurzeln dem Nervenfasernetz zugeleiteten Reizzustände durch die Zellen mit Axencylinderfortsätzen auf die motorischen Wurzeln direct übertragen werden (cf. dagegen MEYNERT S. 964 f.).

Fig. 259.



Mediale Partie des Rückenmarksquerschnittes eines halbjährigen Kindes aus dem unteren Nackentheil, mit Goldchloridkalium behandelt. Vergr. 50. *aa* Vorderstränge. *bb* Hinterstränge. *c* Centralcanal. *d* Contour, das Epithel des Centralcanals andeutend. *e* Bindesubstanz in der Umgebung des Centralcanals. *f* Nervenfasernetz um den Centralcanal. *g* Hintere Querfasern der grauen Kommissur. *h* Vordere Querfasern der grauen Kommissur. *i* Kreuzung in der vorderen weissen Kommissur.

Im mittleren Theil der grauen Rückenmarkssubstanz (GERLACH) etwas nach vorn findet sich der von Cylinderepithel ausgekleidete Centralcanal, der nur bei jugendlichen Personen ganz offen und mit Liquor cerebrospinalis erfüllt ist. Er ist zunächst von einer ziemlich nervenfaserfreien, faserig-körnigen Bindesubstanz umkleidet, in welche die Flimmerzellen fadenförmige Anhänge senden. Vor dieser Lage von Bindesubstanz (Ependyma des Centralcanals) unmittelbar hinter den sich kreuzenden Fasern der weissen Kommissur, zeigen sich die vorderen zur grauen Substanz gehörenden Kommissurfasern, welche wie die der hinteren Kommissur die beiden Rückenmarkshälften verbinden; vorn bleibt hier kein Platz für das feine Nervenfasernetz, welches sich rechts und links, sowie hinter dem Centralcanal ausbreitet. Nach rückwärts schliessen sich die Fasern der hinteren grauen Kommissur an, welche gleichsam den Boden des Sulcus long. post. bilden (Fig. 259). Nach BROWN-SÉQUARD's u. A. Experimentalergebnissen (cf. oben) scheinen die querlaufenden Fasern der hinteren grauen Kom-

und seitlich an die Hinterstränge grenzen

missur mit Hirnorganen, welche Empfindung vermitteln, in Verbindung zu stehen, während die sich kreuzenden Fasern der vorderen weissen Kommissur mit Organen der willkürlichen Bewegung im Gehirn sich verbinden.

In den Vorderhörnern unterscheidet man im Nacken- und Lendentheil des Rückenmarks drei Gruppen von Nervenzellen, eine mediale, vordere und laterale, letztere ist die grösste. In der grauen Mittelpartie (GERLACH) beider Rückenmarkshälften findet sich ein Dorsaltheil der gesonderten Zellenlagen der CLARKE'schen Säulen, mit welchen scharf gezeichnete, rückwärts und vorwärts verlaufende Faserzüge in Verbindung treten. Die Hinterhörner zeigen zwei ziemlich scharf getrennte Abschnitte, der hintere ist die Substantia gelatinosa von ROLANDO, sehr arm an nervösen Elementen, an den Fasern des vorderen Abschnitts der Hinterhörner fällt der Reichthum an Nerventheilungen auf. Die ganz allgemein etwas kleineren Nervenzellen sind nicht zu schärferen Gruppen vereinigt.

Der Faserverlauf im Rückenmark erscheint im Speciellen folgendermassen (GERLACH):

Die Fasern der vorderen Wurzeln gelangen nach ihrem Eintritt in das Rückenmark, schräg durch die weisse Substanz hindurchtretend, direct zur grauen Substanz der Vorderhörner und verbinden sich durch die Axencylinderfortsätze mit den hier gelegenen Nervenzellen. Die Protoplasmafortsätze dieser Zellen betheiligen sich, indem sie sich in ihre Fibrillen auflösen, an der Bildung der feinen, auch die Zellen unter einander verbindenden Nervenfasernetze der grauen Substanz, aus welchen wieder breitere Nervenfasern hervorgehen, welche nach zwei Richtungen hin, medial und lateral verlaufend, aus der grauen Substanz austreten, um in der weissen aufzusteigen. Aus diesem stetigen Zuwachs an neuen Fasern resultirt die Zunahme der weissen Substanz an Masse von den unteren Rückenmarksabschnitten zu den oberen. Die medial verlaufenden Fasern gelangen direct zur vorderen weissen Kommissur, hier kreuzen sie sich mit den gleichen Fasern der anderen Seite und steigen in dem Vorderstrang der entgegengesetzten Rückenmarkshälfte auf; die lateral verlaufenden Fasern begeben sich zu dem Seitenstrange der gleichen Seite, in welchem sie aufsteigen, sie unterliegen erst in der Decussatio pyramidum der Medulla oblongata gleichfalls einer Kreuzung. (MEYNERT's Darlegungen über das Verhalten des centralen Höhlengrau zu den Fasern cf. S. 964 f.).

Die hinteren Nervenwurzeln treten horizontal von aussen nach innen verlaufend in die weisse Substanz und schlagen hier zwei Wege ein. Eine lateral verlaufende kleinere Abtheilung der Fasern bleibt der ursprünglichen Verlaufsrichtung treu, durchsetzt in feinen Bündeln die Substantia gelatinosa und betheiligt sich an der Bildung eines unmittelbar vor dieser gelegenen vertikalen Faserbündels, durch welches die Fasern theils auf-, theils absteigend verlaufen. Aus diesem Bündel biegen die lateralen hinteren Wurzelfasern bald nach vorn in die Horizontalebene um und treten in das feine Nervenfasernetz des vorderen Abschnitts der Hinterhörner ein. Die grössere Abtheilung der hinteren Wurzelfasern verläuft medial und schmiegt sich an die Grenze der Substantia gelatinosa (nach innen und hinten) an, hier biegen sie senkrecht in die Höhe, um in den Hintersträngen eine grössere Strecke auf- und vielleicht auch wieder abwärts zu verlaufen, später biegen auch sie wieder in die horizontale Richtung um. Ein Theil der hinteren Wurzelfasern löst sich also sofort nach seinem Eintritt in den mit einem Nervennetz versehenen Theil der grauen Substanz in

diesem Netze auf, ein anderer Theil geht weiter nach vorn und in dem Maasse, als derselbe weiter nach vorn fortschreitet, betheiligen sich die Fasern unter fortwährenden Theilungen gleichfalls an der Bildung des Nervenfasernetzes. Dieses Netz, in welches gleichsam als Knotenpunkte grössere und kleinere Nervenzellen eingeschaltet sind, steht mit dem Netze der Vorderhörner in continuirlicher Verbindung. Aus demselben entwickeln sich Nervenfasern, welche vor und hinter dem Centralcanal in der grauen Kommissur die Medianebene überschreiten, dann sich nach rückwärts wenden, um theils in den vertikalen Faserbündeln der Hinterhörner, theils in den Hintersträngen, zwischen welchen beiden letzteren vielfache, bis jetzt aber noch unentwirrbare Beziehungen obwalten mögen, nach dem Gehirne aufzusteigen (Gerlach).

Im verlängerten Marke kehren die Verhältnisse des Rückenmarkes im Allgemeinen wieder, es findet sich aber hier noch eine verwickeltere Anordnung auf kleinerem Raume, indem hier die Ansammlungen von Ganglienzellen viel mehr von einander gesondert sind und doch wieder eigenthümlich verbundene Zellensysteme darstellen. Nach Deiters ergibt sich das allgemeine Gesetz, dass überall da, wo Fasermassen eine andere Richtung einschlagen, graue Massen dazwischen geschoben sind. Diese dienen den Fasern nicht sowohl als Endstationen, sondern als Knotenpunkte, von denen aus ein neues System von Fasern ausstrahlt.

Die Ursprünge der Hirnnerven.

Die Ursprünge der Gehirnnerven nach Meynert, Stilling, C. E. Hoffmann u. A.

1) Der N. olfactorius ist eine Abschnürung der Hemisphäre, er sollte also eigentlich noch zu den Gehirnabschnitten gerechnet werden. Er ist ein Divertikel der Grosshirnrinde, besitzt eine feine Höhlung, und erhebt sich vom Gehirne mit drei Wurzeln. Die innere Wurzel verbindet sich (Meynert) mit dem Stirnende des Gyrus fornicatus, die äusseren mit dem Schläfenende der Bogenwindung, dem Subiculum cornu Ammonis.

2) Die Sehnerven, resp. die hinter dem Chiasma gelegenen Tractus optici, kommen von den Sehhügeln, Vierhügeln und Kniehöckern. In der Nähe des Chiasma nehmen sie noch Fasern vom basalen, an der seitlichen Grenze des Tuber cinereum gelegenen Opticusganglion auf (cf. oben).

3) Die gemeinschaftlichen Augennerven lassen ihre Fasern in die Hirnstiele verfolgen, von hier aus ziehen sie getrennt theils gegen das hintere Ende der Sylvi'schen Wasserleitung, theils gegen die Brücke zu. Der grössere Theil der Fasern verbindet sich mit dem Okulomotorio-Trochleariskern, dicht an der Mittellinie in dem Boden der hinteren Abtheilung der Sylvi'schen Wasserleitung gelegen. Von hier aus ziehen die Bündel der Okulomotoriuswurzeln durch die Haube zur Innenseite des Hirnschenkelfusses, indem sie theils den rothen Kern durchsetzen, theils umgreifen. Dieser Kern verbindet sich mit den geraden Fasern der Raphe, aus ihm entspringen auch die Wurzelfasern des Trochlearis.

4) Die Trochleares, Rollnerven. Man kann die Wurzelfasern unter die Vierhügel zum oberen Marksegel verfolgen, dann verlaufen sie schräg um den Aquaeductus Sylvii nach vorn und oben, dicht unter den Vierhügeln kreuzen sie sich mit den Fasern des Trochlearis der anderen Seite (Stilling) und treten dann in den Okulomotorio-Trochleariskern ein.

5) Die dreigetheilten Nerven. Der Trigeminus besitzt eine kleinere motorische und eine grössere sensible Wurzel. Die kleinere Wurzel entspringt aus den seitlichen Ab-

theilungen des hinteren Brückentheils, aus dem *oberen, motorischen Trigeminuskern* (Stilling). Die grössere Wurzel zeigt einen vielfachen Ursprung. Die Fasern der *geraden Wurzel* kommen von einer Zellenanhäufung, ziemlich oberflächlich nach aussen von dem motorischen Trigeminuskern gelegen. Ein Theil *der absteigenden Wurzel*, die *äussere*, kommt von einer Zellengruppe im Gebiete des oberen Vierhügelpaares, die *innere* leitet Meynert aus Zellen vor und hinter den Längsbündeln der vorderen Brückenabtheilung ab. Die *mittlere* kommt aus der Substantia ferruginea des Locus coeruleus, diese Fasern lassen eine Kreuzung mit denen der anderen Seite erkennen. Nach Meynert kommt noch eine *aufsteigende Wurzel* aus der gelatinösen Substanz des Tuberculum cinereum Rolandi in der unteren Hälfte des verlängerten Marks, und mit höchster Wahrscheinlichkeit auch eine aus dem Kleinhirn, deren Fasern in den Bindearmen verlaufen.

6) Der N. *abducens* entspringt aus dem *Abducens-Facialiskern* von den Striae medullares auf dem äusseren Theile der Eminentia teres, in der Höhe des unteren Endes der Fovea anterior.

7) Der N. *facialis* entspringt mit drei Wurzeln (Meynert). Die *absteigenden* Fasern gehen gekreuzt aus der Raphe hervor und biegen sich in den Facialis-Abducenskern, aus dessen oberem Theile die *geraden Wurzeln* hervorkommen. Die *aufsteigenden* Facialiswurzeln kommen aus dem *unteren, vorderen* Facialiskerne, dicht nach aussen vor der oberen Olive gelegen, und verlaufen zum Boden der Rautengrube, dort vereinigen sie sich zu einem knieförmig gebogenen Bündel, welches um den Abducenskern herumzieht.

8) Der N. *acusticus* hat (Meynert) eine *vordere Hauptwurzel*, welche von dem Kleinhirnschenkel durch die Brücke zieht, und eine *hintere* Hauptwurzel, welche die Kleinhirnschenkel umgreift und nahe dem Boden der vierten Höhle liegt. Die beiden Wurzeln treten in Verbindung mit Anhäufungen von Nervenzellen: dem inneren, äusseren und vorderen Akustikuskern. Der *innere Akustikuskern* bildet ein äusseres rhombisches Gebiet der Rautengrube von der Aussenseite der Wölbung des oberen Facialiskerns durch die Mitte der Rautengrube bis zur Aussenseite des Vago-Accessoriuskerns. Der *äussere*, direct an den inneren angrenzende liegt in dem trapezoidischen Feld der inneren Abtheilung der Kleinhirnschenkel. Der vordere Akustikuskern ist wie ein Keil zwischen die Corpora restiformia und das Mark der Flocke eingeschoben. Ausserdem findet man an dem ganzen centralen Verlauf des Akustikus einzelne oder zu Gruppen verbundene Nervenzellen. Die *vordere Hauptwurzel* hat *gekreuzte* Fasern, die, aus den Kleinhirnschenkeln der entgegengesetzten Seite kommend, theils durch den inneren Akustikuskern hindurchtreten, theils durch den äusseren Akustikuskern gerade nach vorn dringen, am Boden der Rautengrube als Fibrae arcuatae umbiegen und zum inneren Akustikuskern der anderen Seite gelangen. Dazu kommen noch *ungekreuzte* äussere Fasern, aus dem äusseren Akustikuskerne, dem Corpus restiforme und dem vorderen Akustikuskern stammend. Die *hintere Hauptwurzel* zeigt oberflächliche Bündel, die Striae medullares, welche als Fibrae arcuatae aus den Kleinhirnschenkeln der anderen Seite durch die Raphe zum Boden der Rautengrube treten. Tiefer als sie, aber sonst analog verlaufen andere Fasern, welche theilweise den inneren Akustikuskern durchsetzen. Diese theils directe, theils gekreuzte Verbindung mit dem Kleinhirn ist dem Akustikusursprung ganz specifisch eigen (Meynert).

9) Die Ursprünge des 9) N. *Glossopharyngeus*, 10) des N. *vagus* und 11) des N. *accessorius* können nur gemeinsam beschrieben werden (Meynert). — Zwischen dem inneren Akustikuskern und der Eminentia teres schiebt sich nach vorn eine Nervenzellenanhäufung ein: der äussere Glossopharyngeuskern, etwas weiter einwärts liegt der innere Glossopharyngeuskern. Mehr in der Tiefe beginnt der Vaguskern, dringt nach hinten gegen die Oberfläche des grauen Bodens der vierten Hirnhöhle vor und geht in der Ala cinerea in den Akustikuskern über. An der Eminentia teres liegt nach innen der mediale Kern. Mehrere mm von der grauen Substanz der Rautengrube entfernt liegt, durchzogen von den Fibrae arcuatae, der vordere motorische Glossopharyngeo-Vaguskern. Alle diese Ursprungskerne stehen

mit den Hirnschenkeln in Verbindung durch Fibrae rectae der Raphe und durch die dem grauen Boden nächstgelegenen Fibrae arcuatae, welche aus der Raphe zum Vago-Accessoriuskern gelangen. Ausserdem verbinden sie sich mit den Wurzeln der drei Nerven. Eine gemeinsame aufsteigende Wurzel der NN. glossopharyngeus, vagus und accessorius kommt wahrscheinlich aus dem Fusse des Hirnschenkels, tritt etwas oberhalb der Pyramidenkreuzung aus der Raphe zur zweiten Abtheilung der Fibrae arcuatae und mischt sich theilweise nach und nach den Wurzelfäden der NN. accessorius und vagus bei, während das obere Ende in den N glossopharyngeus eindringt. Eine mediale Wurzel des N. vagus stammt von den Fibrae rectae der Raphe dicht vor der grauen Masse der Rautengrube. Vom Glossopharyngeus-Vaguskern steigen Wurzeln zu den entsprechenden Nerven auf. Zum Vagus kommen Bündel vom Fasciculus teres. Zum N. vagus und N. glossopharyngeus treten noch Fasern von der gelatinösen Substanz und aus dem motorischen Glossopharyngeuskern. Die unteren Wurzeln des N. accessorius entspringen bis zur Pyramidenkreuzung aus dem lateralen Fortsatze des Vorderhirns, unterhalb der Kreuzung aus der Formatio reticularis. Sie verlaufen parallel den Hinterhörnern nach aussen.

12) Der N. hypoglossus stammt aus dem Hypoglossuskern, der im unteren Winkel der Rautengrube, von weisser Masse bedeckt, eine mittlere Erhebung bewirkt. Er ist durch Fibrae rectae mit der Pyramide verbunden, andere Wurzelfasern kommen direct durch die Raphe aus den Hirnschenkeln, zwischen beiden Hypoglossuskernen findet sich eine gekreuzte Kommissur aus sehr feinen Fasern.

Ueber den Ursprung der Rückenmarksnerven finden sich die Angaben oben im Text.

Zusammenstellung der Functionen der Hirn- und Rückenmarksnerven.

Bei den einzelnen Organen wurden die Wirkungen der Nerven schon ausführlich abgehandelt. Es bedarf hier vorzüglich nur noch einer übersichtlichen Zusammenstellung der gefundenen Thatsachen.

I. Hirnnerven.

1) Nervus olfactorius, der Riechnerv.

2) Nervus opticus, Sehnerv. Erregt reflektorisch den N. oculomotorius, dessen zum Sphincter pupillae gehende Fasern.

3) Nervus abducens, motorischer Nerv für den Musculus abducens des Auges (Musculus rectus oculi externus). Er erhält aus dem Sympathicus vom Centrum cilio-spinale stammende) Fasern an der Stelle, wo er die Carotis kreuzt. Daraus erklärt es sich, dass nach Sympathicus-Durchschneidung am Halse das Auge nach Innen schielt. Vom Trigeminus erhält er wahrscheinlich sensible Fasern.

4) Nervus trochlearis, motorischer Nerv für den Musculus trochlearis des Auges (Musculus obliquus oculi superior), er führt sensible Fasern vom Trigeminus.

5) Nervus oculomotorius, motorischer Nerv für die meisten Augenmuskeln: Mm. rectus superior, inferior, internus, M. obliquus inferior, M. levator palpebrae superioris. Er innervirt auch den Ringmuskel der Pupille, den Sphincter Iridis s. pupillae und den Accommodationsmuskel: M. tensor chorioideae. Seine Erregung geschieht grossentheils willkürlich; die Fasern für den Sphincter Iridis werden reflektorisch vom Opticus aus erregt. Die Reizung erzeugt eine Verengerung der Pupille (Erweiterung der Pupille erfolgt activ durch Sympathikusreizung). Bei Lähmung des Oculomotorius ist also das Augenlid herabgesunken (Ptosis) und die Augapfelbewegung fast vollkommen gelähmt, wegen des Uebergewichts der ungelähmten Mm. trochlearis und abducens tritt Auswärtsschielen ein. Die Pupille ist erweitert und gegen Licht unempfindlich, die Accommodation ist unmöglich, das Auge dauernd auf seinen Fernpunkt eingestellt. Manchmal sind die Irisfasern von der allgemeinen Oculomotoriuslä-

mung nicht getroffen: die Pupille normal beweglich. Er erhält am Sinus cavernosus vom Trigeminus sensible Fasern.

6) Nervus trigeminus. Er besitzt sensible und motorische Fasern. Er entspringt nach Analogie der Rückenmarksnerven mit zwei Wurzeln, einer sensiblen: Portio major, welche wie die Rückenmarksnerven ein Ganglion: G. Gasseri, besitzt, und einer motorischen Wurzel: Portio minor.

a. Seine sensiblen Fasern vermitteln die Empfindung in der Dura mater, der Augenhöhle und ihrer Umgebung, der Stirn, dem ganzen Gesichte, dem vorderen Theil des äusseren Ohres, dem äusseren Gehörgang, der Schläfengegend, dem oberen Theile der Rachenhöhle, der Nasenhöhle, dem harten Gaumen, der Zunge, den Zähnen, dem Boden der Mundhöhle, also fast am ganzen Kopf. Ausgenommen ist nur der Pharynx (zum grössten Theil), der hintere Theil der Zunge, die hinteren Gaumenbögen, Tuba Eustachii und Trommelhöhle, welche vom Vagus und Glossopharyngeus innervirt werden. Auch der innerste Theil des äusseren Gehörgangs bekommt vom Vagus (ramus auricularis), ein Theil der Ohrmuschel und des Hinterhaupts bekommen von Cervicalnerven ihre sensiblen Fasern. Diese Theile verlieren also nach Trigeminus-Durchschneidung nicht ihre Empfindlichkeit. Er scheint (? Geschmacksnerv in den von ihm versorgten Theilen der Zunge (für süss und sauer?).

b. Er ist der motorische Nerv für die Mm. temporalis, masseter, pterygoideus (Kaumuskeln), digastricus anterior maxillae, tensor und levator palati, tensor tympani, mylohyoideus. Auch zum M. buccinator geht ein Zweig. Er hat Fasern, welche von Einfluss auf die Pupille sind. Nach Durchschneidung des Ganglion Gasseri tritt Pupillarverengerung ein (durch Reflex auf den Oculomotorius?). Er sendet vasomotorische Fasern, vermuthlich sympathischen Ursprungs, zu den Arterien der Conjunctiva und Iris.

c. Er ist der sekretorische Nerv für die Thränendrüse (R. lacrimalis N. trigemini), für die Parotis (R. auriculo-temporalis vom III. Aste des N. trigeminus) und Submaxillardrüse. Er steht auch in reflektorischer Beziehung zur Speichelsekretion durch Vermittelung des Ganglion linguale und des Gehirnes.

d. Er ist trophischer Nerv für das Auge, die Lippen etc., wahrscheinlich durch Vermittelung der Empfindlichkeit in diesen Organen. Nach der Durchschneidung des Trigeminus in der Schädelhöhle wird der Augapfel entzündet und schliesslich zerstört. Bringt man eine schützende empfindliche Hautfläche künstlich vor das Auge, indem man bei Kaninchen das Ohr vor dem Auge befestigt (Snellen), so bleibt das Auge gesund. Die innersten Fasern scheinen als trophische Nerven die Hauptrolle zu spielen. Durchschneidet man sie allein (Meissner, Schiff), wobei die Empfindlichkeit erhalten bleibt, so entzündet sich das Auge doch leicht, was nicht eintreten soll trotz Empfindungslähmung, wenn der Trigeminus ganz bis auf die innersten Fasern durchschnitten ist (Samuel). Nach Durchschneidung des Trigeminus treten Geschwüre im Munde auf; nach einseitiger Lähmung der Kaumuskeln stellt sich der Unterkiefer nämlich schief und die Zähne drücken reizend auf die Schleimhaut (Rollett).

7) Nervus facialis. Er besitzt motorische und sekretorische Fasern. Seine Empfindungsfasern werden ihm (grossentheils) bei seinem Lauf durch das Felsenbein vom Trigeminus beigemischt. Er ist motorischer Nerv für den M. stapedius (bei Facialislähmung tritt — nicht regelmässig — eine schmerzhafte Empfindlichkeit gegen höhere Töne: Hyperacusis Willisiana ein, durch Schlottern des Steigbügels im ovalen Fenster?), die Muskeln des äusseren Ohres, die Muskeln der Stirn mit dem M. corrugator und orbicularis, für die Muskeln der Nase, des Gesichts, des Mundes, der Gesichtsmuskeln, für den hinteren Bauch des M. digastricus, für die Mm. stylohyoideus, buccinator, Platysma, Muskeln des Kinnes. Auch einige Gaumenmuskeln scheint er zu bewegen (cf. Glossopharyngeus). Der Facialis ist ein Sekretionsnerv der Speicheldrüsen und zwar seine Chorda tympani in Verbindung mit dem Trigeminus und dem Ganglion linguale. Der Chorda tympani schreibt man auch Geschmacksempfindung zu. Bei Facialislähmung ist das Gesicht nach der gesunden Seite zu verzerrt.

8) **Nervus acusticus, Gehörnerv.**

9. Nervus glossopharyngeus. Er ist ein gemischter Nerv. Seine motorischen Fasern (Bischoff) gehen zu den Mm. stylopharyngeus, constrictor faucium medius, levator palati mollis und azygos uvulae. Er scheint das Gefühl in den hinteren Abschnitten der Zunge zu vermitteln, und ist jedenfalls wenigstens der hauptsächlichste Geschmacksnerv. Es steht in reflektorischer Beziehung zur Speichelsekretion. Ludwig und Rahn reizten das centrale Ende des durchschnittenen Glossopharyngeus und erhielten dadurch lebhafte Speichelsekretion, welche durch den Trigeminus und Facialis vom Gehirne her vermittelt wurde. Nach der Durchschneidung dieser Nerven hörte die Reflexerregung auf.

10. Nervus vagus. Er hat wahre motorische Fasern. Bei mechanischer wie electrischer Erregung der Wurzelfäden des Vagus kommen bei Säugethieren in Aktion: Mm. constrictor pharyngis supremus, medius und infimus, der Oesophagus, Muskeln des weichen Gaumens: levator veli palati, azygos uvulae und M. pharyngopalatinus; der Magen und bei frisch getödteten Säugethieren oder bei lebenden nach Durchschneidung der Nn. Splanchnici der gesammte Darm (H. Helferich), sowie der Uterus. Die Einwirkung des Vagus auf den Darm wird scheinbar geringer bei dem Herabsteigen in der Thierreihe (H. Helferich), bei Vögeln kommt, auch nach Splanchnicus-Durchschneidung, nicht mehr der ganze Darm in Bewegung. Durch Reizung des peripherischen Vagusstammes — die Reizung des centralen Stumpfes ist auf den Darm stets wirkungslos, dagegen hat einseitige Vagusreizung für den Darm schon den vollen Erfolg —, bei Fröschen bewegt der Vagus nur Speiseröhre, Magen und die obersten Dünndarmschlingen, bei Fischen, deren Darm nur glatte Muskelfasern besitzt, erfolgt gar keine Bewegung. Der Darm der Schleie hat nur quergestreifte Muskulatur, diese wird durch den Vagusreiz rasch und vollkommen erregt, der Schlammpeitzger hat nur im oberen Theil des Darms quergestreifte Fasern, hier bleibt die Erregung auf diesen Theil beschränkt (Helferich). Galvanische Reizung des Vagus erregt auch die Kehlkopfmuskeln, die Fasern verlaufen grösstentheils im Laryngeus inferior s. Recurrens, der Laryngeus superior gibt einen Zweig an den Cricothyreoideus (cf. N. accessorius), auch einen Einfluss des Vagus auf die Bronchienmuskulatur hat man behauptet. Bei Fischen (Teleostiern) treten Vaguselemente zur Schultermuskulatur. Gegenbaur homologisirte theoretisch Kiemen- und Schulterbogen (mit den vorderen Extremitäten): R. Wiederschein zeigte zum Beweis dieser Anschauung, dass bei Protopterus Kiemen- und Extremitätengrundlage wirklich an demselben Bogen (Schulterbogen) ansitzen und dass der Vagus, der Kiemennerv, mit dem Nervus hypoglossus den starken motorischen Nerven für die vordere Extremität bildet. Er besitzt sensible Fasern für die Schleimhaut des Kehlkopfs und der Luftröhre, vielleicht für den ganzen Respirationsapparat. Betupfen der Trachealschleimhaut mit reizenden Flüssigkeiten erzeugt Husten, der nach der Vagusdurchschneidung wegfällt. Er vermittelt die Empfindlichkeit des Herzens. Nach J. Steiner verlaufen bei Kaninchen die sensiblen (zur Lunge gelangenden) Fasern des Vagus auf der äusseren, die motorischen auf der inneren Seite des Vagusstammes; er trennte beide Abschnitte mit dem Messer.

Am Halstheile des Vagus hat man Folgendes experimentell festgestellt. *a.* Er ist der regulatorische oder Hemmungsnerv der Herzbewegung. Seine Durchschneidung am Halse beschleunigt, die Reizung des peripherischen Endes des durchschnittenen Nerven verlangsamt die Herzbewegung und bringt sie ganz zum Stillstand (der Vagus ist hierin der Antagonist des Sympathikus (v. Bezold). Er kann zu dieser Function reflektorisch erregt werden (Klopfversuch, Goltz). Auch die Reizung des centralen Stumpfes bewirkt, wenn der andere Vagus intakt ist, Verlangsamung der Herzbewegung (Donders). *b.* Ein Zweig: Nervus depressor, setzt durch Verminderung des Tonus der Gefässnerven die Widerstände in der Blutbahn herab. Dieses erfolgt durch centripetal geleitete Reizung, die Durchschneidung des N. depressor ist erfolglos, der Effekt zeigt sich nur bei Reizung des centralen Depressorstumpfes. Andererseits soll der Vagus excitirende Fasern besitzen für das vasomotorische Centrum: pressorische Fasern, namentlich im Laryngeus superior (Aubert und Roever). *c.* Er steht in reflektorischer Beziehung zum Centrum der Athembewegungen. Bei Durchschneidung des Vagus sinkt die Athemfrequenz. Reizung des centralen Vagusstumpfes

bewirkt Beschleunigung, zuletzt Stillstand in Inspirationsstellung. Diese Fasern entspringen wahrscheinlich in der Lunge. *d.* Reizung des centralen Stumpfes des R. laryngeus superior bringt Verlangsamung der Athembewegungen und Stillstand in der Exspiration hervor. Seine Durchschneidung verlangsamt etwas die Inspiration (SKLAREK). *e.* Er soll der trophische Nerv der Lunge sein. Nach seiner Durchschneidung sieht man schleimige und serose, selbst blutige Ergusse in den Bronchien und Alveolen, die Lunge wird theilweise atelektatisch. Nach seiner beiderseitigen Durchschneidung functioniren die Kehlkopfmuskeln mit den Stimmbandern nicht mehr und Speisetheilchen gelangen leicht in die Lunge; was man bisher als Ursache jener Erkrankungen der Lunge ansprach. Nach v. WITTIG und GENZMER sind dagegen Hyperamie und Oedem der Lunge directe Folgen der Vagusdurchschneidung, sie bedingen eine Schwächung der Resistenz der Lunge gegen Schädlichkeiten. *f.* Nach Durchschneidung der Vagi treten Störungen in der Verdauung ein. Der Grund liegt zum Theil in der Lähmung der Oesophagus-, Magen- und Darmmuskulatur. Die Magensaftabsonderung scheint vom Vagus unabhängig zu sein. Er soll Hunger- und Durstgefühl vermitteln, auch die Speichelsekretion wahrscheinlich vom Magen aus anregen. Auf die Pankreassekretion soll er hemmende Einflusse ausüben (LUDWIG, N. O. BERNSTEIN), dagegen soll er die Nierensekretion und die Zuckerbildung in der Leber anregen. *g.* Der Ramus auricularis vagi steht in reflektorischer Beziehung zu der Gefässmuskulatur des Ohres (SNELLEN, LOVÉN). Die Reizung des centralen Stumpfes desselben bedingt zuerst Verengerung, dann Erweiterung der betreffenden Gefässe.

Zur Erleichterung der Uebersicht sollen noch die Resultate der Durchschneidung und Reizung des Vagus und seiner Zweige am Halse zusammen aufgeführt werden.

Nach Durchschneidung des Vagusstammes am Halse sind die Muskeln des Kehlkopfs gelähmt, bei beiderseitiger Durchschneidung die Stimmbänder functionsunfähig. Die Herzbewegungen sind beschleunigt, die Athembewegungen verlangsamt. Bei Reizung des peripherischen Vagusendes am Halse contrahiren sich die Kehlkopfmuskeln, es tritt Stimmritzenkrampf ein, die Bewegung des Herzens wird verlangsamt, endlich steht es in Diastole still, die Bronchienmuskeln sollen sich contrahiren, es treten Contractionen des Magens, Darms, Uterus ein und die Nierensekretion soll vermehrt werden. Reizung des centralen Vagusendes am Halse beschleunigt und verstärkt die Inspirationsbewegung bis zum Inspirationskrampf (soll die Speichelsekretion vermehren, dagegen die Pankreassekretion vermindern). Findet die Reizung oberhalb der Vereinigung der depressorischen Fasern mit dem Vagus statt, so tritt allgemeine Verminderung des Blutdrucks ein. Ist der andere Vagus undurchschnitten, so wird der Herzschlag verlangsamt.

Ist der Laryngeus inferior durchschnitten, so werden die Kehlkopfmuskeln mit den Stimmbändern gelähmt, Reizung seines peripherischen Endes bewirkt (wie die des Vagusstammes) Contraction dieser Muskeln.

Durchschneidung des Laryngeus superior soll die Inspiration etwas verlangsamen. Die Reizung seines centralen Stumpfes verlangsamt die Inspiration und unterdrückt sie endlich ganz. Gleichzeitig erhöht sie den Blutdruck durch Contraction aller Arterien. Reizung des centralen Depressorstumpfes vermindert den Blutdruck durch Erschlaffung und Erweiterung aller Arterien.

11) Nervus hypoglossus. Er ist wesentlich motorischer Nerv für alle Zungenmuskeln, die Mm. styloglossus, hypoglossus, genioglossus, lingualis, thyreohyoideus, sternohyoideus, sternothyreoideus und omohyoideus. Er hat auch sensible Fasern und einen Ramus cardiacus von unbekannter Bedeutung.

12) Nervus accessorius. Er innervirt die Mm. sternocleidomastoideus und cucularis, nach BISCHOFF auch die Kehlkopfmuskeln. Sensibilität geht ihm vielleicht ganz ab. Man betrachtet ihn als eine motorische Wurzel des Vagus (LONGET), doch führt auch der Vagus an seinem Ursprunge motorische Fasern (VAN KEMPEN). Durchschneidung des Accessorius vor seiner Verbindung mit dem Vagus soll, nach Einigen, alle vom Vagus und Accesso-

rius versorgten Muskeln lähmen, doch erregt isolirte Reizung des Vagusursprungs Bewegungen im Larynx, im Schlund und in der Speiseröhre. Die isolirte Durchschneidung des Accessorius soll die Herzbewegung beschleunigen, Reizung sie verlangsamen (Heidenhain).

II. Rückenmarksnerven.

Im Jahre 1814 entdeckte der Engländer Ch. Bell, dass von den beiden Wurzeln, mit denen jedes der 31 Paare der Rückenmarksnerven aus dem Rückenmarke entspringen, die vordere der Bewegung, die hintere der Empfindung dient. Man nennt diese Thatsache, welche durch mechanische Reizung und Durchschneidung der Nervenwurzeln innerhalb des aufgebrochenen Rückencanals nachgewiesen wurde, **Bell'sches Gesetz.**

Magendie hat zuerst beobachtet, dass sich sensible Fasern von der hinteren Wurzel auch auf die vordere begeben und so zum Rückenmark zurückkehren. Sie ertheilen den vorderen Wurzeln einige Empfindlichkeit, die sich aber nur zeigt, so lange die hinteren Wurzeln intakt sind. Durchschneidet man diese und trennt dadurch die »rückläufigen« empfindenden Fasern von ihrer Verbindung mit dem Rückenmarke, so hört die Empfindlichkeit der vorderen Wurzeln auf. Man bezeichnet diese Empfindlichkeit der motorischen Wurzeln, welche, wie man erkennt, dem Bell'schen Gesetze keinen Eintrag thut, als rückläufige Empfindlichkeit, Sensibilité recourrante. Harless und E. Cyon haben gefunden, dass durch Vermittelung der hinteren Wurzeln den vorderen eine erhöhte Erregbarkeit ertheilt werde. Schnitte durch Hirn und Rückenmark bewirkten bei unversehrten hinteren Wurzeln Sinken der Erregbarkeit der vorderen, nach Durchschneidung der hinteren Wurzeln waren sie wirkungslos. Die Orte, wo diese Einwirkung von den hinteren Wurzeln auf die vorderen übertragen wird, scheinen danach in der ganzen Rückenmarksaxe vertheilt zu sein.

Nach L. Löwe verlaufen die motorischen und sensiblen Fasern im gemischten Nervenstamm zu zwei räumlich gesonderten Bündeln vereinigt, die sensiblen am Aussen-, die motorischen am Innenrande des Nervenstammes.

Im Allgemeinen gilt von der Verbreitung der Rückenmarksnerven Folgendes: Es reicht der Verbreitungsbezirk eines einzelnen Rückenmarksnerven nicht über die Mittellinie des Körpers hinaus. Es ergibt sich dieses für den Menschen vor Allem aus der Prüfung des Tastsinnes einseitig Gelähmter. Jeder Muskel und jedes Hautstück erhalten, wie es scheint, Nervenfäden von verschiedenen Nervenwurzeln, so dass die Lähmung eines Rückenmarksnerven nicht mit Nothwendigkeit eine vollkommene Bewegungs- und Empfindungslähmung der von ihm versorgten Theile bedingt (Halblähmung).

Es gilt ziemlich allseitig das Verbreitungsgesetz, dass die sensiblen Fasern eines Rückenmarksnerven sich an die Hautstellen verbreiten, welche über den Muskeln liegen, welche von den motorischen Fasern derselben Nerven versorgt werden.

Die Rückenmarksnerven geben vasomotorische Fasern für die meisten Arterien ab, man nimmt vielfach an, dass diese von den Rami communicantes vom Sympathikus aus auf die Rückenmarksnerven übertreten, so dass sie also vom Sympathikus abstammen (s. Sympathikus).

Bei den folgenden Nerven ist ebenfalls noch nicht entschieden, was von ihren Effecten dem Sympathikus und was dem Rückenmark zugeschrieben werden muss.

Der Nervus phrenicus, Zwerchfellsnerv. Er ist gemischter Natur, seine Reizung und Durchschneidung ist schmerzhaft. Seine Durchschneidung erzeugt beschleunigtes Athmen, Athembeschwerden, die operirten Thiere sterben bald. Nach Luschka gehen Fasern zum serösen Leberüberzug.

Die Nerven der Blase. Die Bewegungsfasern laufen in den Sakralnerven. Die Empfindungsfasern sollen den Rami communicantes entstammen, welche in den Lendentheil des Sympathikus eintreten. OEHL will auf Reizung des centralen Vagusendes reflektorisch eine Verengerung der Blase erhalten haben; die Blasenmuskulatur soll vom verlängerten Marke aus erregbar sein.

Die Nerven des Samenleiters stammen nach BUDGE vom 4.—5. Lendennerven bei dem Kaninchen und verbinden sich durch die Rami communicantes mit dem Sympathikus. Innerhalb des Rückenmarks sollen sie mit einem Centrum genitospinale verknüpft sein. BUDGE verlegt dieses in die Gegend des 4. Lendenwirbels.

Die Nerven des Uterus. Man hat den Uterus von verschiedenen Stellen des Rückenmarks, dem verlängerten Mark, dem kleinen Gehirn, der Brücke, in Bewegung gesetzt. Die Bewegungen erfolgen am leichtesten vom Lendenmark aus. Nach Trennung der Sakraläste der Plexus hypogastrici posteriores hören die rhythmischen Bewegungen nach einiger Zeit auf. Die Reizung der Sakralnerven bringt den Uterus zur Bewegung (OBERNIER, KEHRER, KÖRNER).

Die erigirenden Nerven. ECKHARD bestätigte die langgehegte Vermuthung, dass die Erektion des Penis durch Rückenmarksnerven zu Stande komme (da die Erektion bei Rückenmarksleiden unmöglich ist), dadurch, dass er einen aus dem Sakralplexus bei dem Hunde entspringenden Nerven kennen lehrte, welcher bei Reizung eine starke Beschleunigung des Blutstroms im Penis erzeugt.

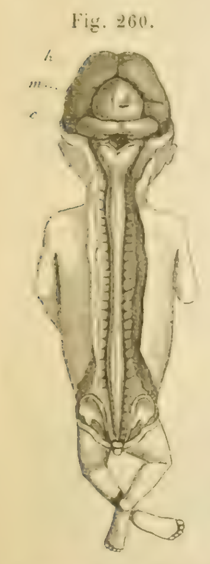
Der Nervus pudendus communis scheint ein Antagonist dieses eben genannten Nerven zu sein. Auf seine Durchschneidung folgt nämlich eine Erweiterung der Arteria dorsalis penis (LOVÉN) und die Pulsation in ihr wird lebhafter. Seine Erregung würde also den Blutzufluss zum Penis hemmen, Verminderung der normalen Erregung (wie die Durchschneidung) dieses Nerven die Erektion begünstigen.

Zur Entwickelungsgeschichte der nervösen Centralorgane und Nerven.

Die erste Bildung des Medullarrohres und Gehirns wurde oben beschrieben (Fig. 42—46, S. 44 KÖLLIKER). Als Anlage des Gehirns bildet sich vorn an der sich schliessenden Rückenfurche zunächst eine Erweiterung, hinter welcher dann noch zwei andere entstehen, welche sich zu drei Blasen abschliessen: vordere, mittlere und hintere Hirnblase. Die vordere Blase lässt bald einen grösseren vorderen und einen kleineren hinteren Abschnitt erkennen: das Vorderhirn und Zwischenhirn. Die dritte Blase zerfällt ebenfalls in eine vordere Abtheilung: Hinterhirn, und eine hintere: Nachhirn. Nur die mittlere Hirnblase: das Mittelhirn, bleibt einfach. Das Vorderhirn bildet sich zum grossen Gehirn aus mit den Corpora striata, dem Corpus callosum und dem Fornix. Aus dem Zwischenhirn gehen die Sehhügel und die Theile am Boden des dritten Ventrikels hervor. Die Augenblasen zeigen sich sehr früh an der ersten Hirnblase, durch vorwiegendes Wachsthum des zwischen ihnen gelegenen Hirnblasenabschnittes und der Bildung des Vorderhirns rücken sie mehr und mehr nach abwärts und hinten und werden zu Bestandtheilen des Zwischenhirns. Das anfänglich mit allen seinen Theilen horizontal liegende Gehirn zeigt bald drei beinahe rechtwinkelige Krümmungen: die Nackenkrümmung, an der Uebergangsstelle des Rückenmarks in das verlängerte Mark; die Brückenkrümmung, an der Grenze zwischen Hinterhirn und Nachhirn, wo in der Folge die Brücke entsteht; die Scheitelkrümmung stellt Zwischenhirn und Vorderhirn nahezu unter einen rechten Winkel zum Mittel- und Hinterhirn. Diese Gehirnkrümmungen entsprechen theilweise den S. 52 erwähnten Krümmungen des Embryonalkörpers, theilweise scheinen sie sich aus dem frühen Auftreten des Tentorium cerebelli zu erklären, welches anfänglich eine fast senkrecht stehende Scheidewand durch die ganze Schädelhöhle darstellt. Auch die Falx cerebri entsteht sehr früh und betheiligt sich an der Gestaltung des embryonalen Gehirns.

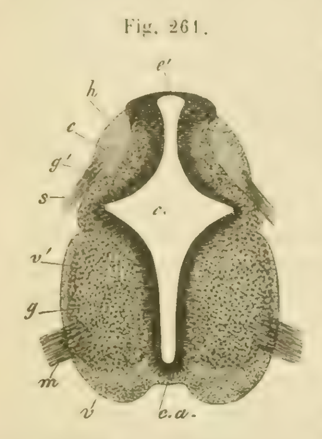
Anfänglich liegen die grossen Hemisphären vor dem Zwischenhirn, resp. den Sehhügeln, aber schon im zweiten Monat haben sie sich beim Menschen nach aussen und hinten so weit verlängert, dass sie jene theilweise bedecken. Im fünften Monat werden die Vierhügel (Mittelhirn) überwuchert, im sechsten Monat überragt das grosse Gehirn auch das Cerebellum. Die Oberfläche der Hemisphäre ist Anfangs ganz glatt, später faltet sie sich etwas ein, im fünften und sechsten Monat sind diese Falten wieder verschwunden, die Oberfläche vollkommen glatt. Vom siebenten und achten Monat an bilden sich die bleibenden Hirnwindungen durch Oberflächenwucherung der Hemisphären, ebenso auch am kleinen Gehirn. Eine erste der sich bildenden Furchen ist die Fossa Sylvii. Die Blase des Mittelhirns verengt sich allmählig zum Aquaeductus Sylvii. Aus der Basis des Mittelhirns bilden sich die Hirnstiele. Das Cerebellum entsteht aus zwei Blättchen, welche von den vordersten Abschnitten der Ränder der ursprünglichen dritten Hirnabtheilung gegen einander wachsen und im zweiten Monat in der hinteren Medianlinie zusammenstossen. Dadurch bildet sich eine kleine, horizontal liegende, anfänglich gleichmässig dicke Platte, später verdicken sich die Seitentheile mehr. Eine dünne, später schwindende Lamelle (Membrana obturatoria ventriculi quarti) verbindet um diese Zeit das Cerebellum mit dem verlängerten Mark und schliesst die Rautengrube grösstentheils. Am Ende des dritten und vierten Monats wölben sich die Seitentheile des Kleinhirns mehr und mehr und erhalten, und zwar zuerst am Wurm, ihre Lappen und Furchen.

Fig. 260.



Dreimonatlicher menschlicher Embryo in natürlicher Grösse mit blossgelegtem Hirn und Mark. *h* Hemisphären des grossen Hirns, *m* Mittelhirn, *c* kleines Hirn. An der Medulla oblongata sieht man einen Rest der Membrana obturatoria ventriculi IV.

Fig. 261.



Querschnitt des Halsmarkes eines sechs Wochen alten menschlichen Embryo von 0,56''' Höhe und 0,44''' Breite am breitesten Theile, 50mal vergrössert. *c* Centralcanal, *e* epithelartige Auskleidung desselben, *g* vordere graue Substanz mit einem dunkleren Kern, aus dem die vordere nicht dargestellte Wurzel entspringt, *g'* hintere graue Substanz, *v* Vorderstrang, *h* Hinterstrang, *ca* Commissura anterior, *m* vordere, *s* hintere Wurzel, *v'* hinterer Theil des Vorderstranges (sogenannter Seitenstrang), *e'* dünner Theil der Auskleidung des Centralcanales in der hinteren Mittellinie.

Die aus dem Nachhirne sich bildende Medulla oblongata zeigt in frühen Perioden eine sehr bedeutende Grösse. Ihre einzelnen Abtheilungen sind schon im dritten Monat erkennbar.

Das Rückenmark füllt anfänglich den ganzen Rückgratscanal aus, erst vom vierten Monat an bleibt das Rückenmark gegen die Wirbelsäule im Wachsthum zurück, doch steht seine Spitze bei Abschluss des Embryonallebens noch in der Höhe des dritten Lendenwirbels. Durch das scheinbare Hoherrücken des Rückenmarks verlängern sich die anfänglich ebenfalls senkrecht abgehenden unteren Nervenwurzeln mehr und mehr, ihr Verlauf wird ein schiefer, und sie bilden endlich mit den 3 Häuten des Rückenmarks die Cauda equina.

Die Anlage des inneren Baues des Rückenmarks wird durch Figur 261 erläutert. — Nach der Schliessung der Rückenfurche bildet das Rückenmark einen Canal, dessen Wand aus gleichartigen, radiär angeordneten Zellen besteht. In der Folge scheidet sich die Wand in zwei Lagen, von denen die innere die Auskleidung des Centralcanals, die äussere die Anlage der grauen Masse darstellt. Die weisse Substanz tritt später als ein von den Zellen der grauen Substanz gelieferter Beleg auf. Während dann der Centralcanal sich von hinten nach vorn mehr und mehr verengt, nehmen graue und besonders weisse Substanz fortschreitend an

Masse zu. Im zweiten Monat reicht der Centralcanal noch mit seinem Epithel bis an die Oberfläche.

Die Rückenmarkshäute sind Produktionen der Urwirbel. Pia und Dura mater sind beim sechswochentlichen menschlichen Embryo schon deutlich. Der subarachnoideale Raum ist erst eine spätere, durch das schon erwähnte relativ stärkere Wachsthum der Umhüllungen gegenüber dem Marke veranlasste Bildung. Die Arachnoidea ist deutlich gesondert erst im fünften Monat zu unterscheiden.

Zur vergleichenden Anatomie der nervösen Centralorgane und Nerven.

Wirbellose Thiere (GEGENBAUR). Bei den niedersten animalen Organismen, den Protozoen, sind bisher noch keine hierher zu rechnende Gebilde aufgefunden worden, ebensowenig ist bei den festsitzenden Coelenteraten ein Nervensystem bekannt. Dagegen zeigen ein solches die Medusen und Ctenophoren. Bei den Medusen bildet das Nervensystem einen längs des Scheibenrandes verlaufenden Faserring, der in regelmässigen Abständen ganglienartige, zellenhaltige Anschwellungen erkennen lässt, welche den als Sinnesorgane zu deutenden Randkörpern entsprechen, und nervöse Fortsätze zu verschiedenen Körperorganen entsenden (AGASSIZ, F. MÜLLER).

Bei den Würmern zeigt sich der Nervenapparat je nach der speciellen Körperbildung verschieden. Seine Centren und seitlichen Abschnitte richten sich ihrer Zahl und Anordnung nach im Allgemeinen nach der Gliederung des Körpers. Bei allen liegen die wichtigsten nervösen Centralorgane im Vordertheile des Körpers und umkreisen häufig den Munddarm ringförmig: Schlundring, von hier aus strahlen Nervenstämme nach den seitlichen Theilen des Körpers.

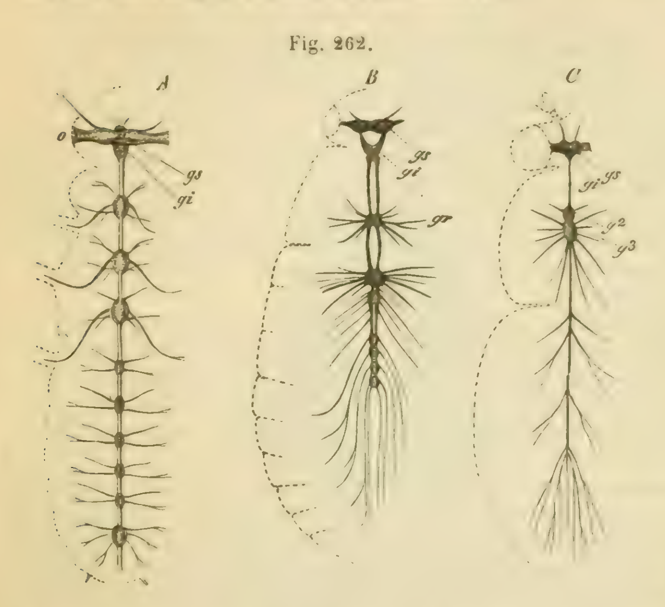
Auch die nervösen Centralorgane der Echinodermen bilden eine Art Schlundring. Jedem Radius des Körpers entspricht ein nervöser Hauptstamm, alle laufen gegen den Schlund zusammen und werden hier vorwiegend durch Kommissurenfäden zu dem Schlundring verbunden. Die wichtigsten nervösen Centralorgane liegen bei diesen Thieren in den Nervenstämmen selbst, welche etwa in der Mitte ihres Verlaufs zu den von J. MÜLLER als Ambulacralgehirne bezeichneten Ganglien anschwellen und zahlreiche Nervenzweige abtreten lassen. Sowohl in den Ambulacralstämmen als im Schlundringe selbst finden sich zellige Elemente (HÄCKEL).

Während die Echinodermen in Beziehung auf das Nervensystem nicht ganz direct an die vorhergehenden Formen anknüpfen, zeigt das Nervensystem der Arthropoden sich dem der Anneliden ziemlich analog. Auch bei ihnen lagert über dem Schlunde eine vorzugsweise entwickelte Ganglienmasse als Kopfganglion oder Gehirn, welche, mit zwei Kommissuren den Schlund umgreifend, sich mit einem centralen Ganglion zu einem Nervenschlundring verbindet. Auf der Bauchseite erstreckt sich von dem letztgenannten Ganglion aus eine durch Längskommissuren zusammenhängende Ganglienkette: Bauchganglienkette, die je nach der Entwickelung der Gliedertheilung des Körpers mehr gleichmässig (z. B. bei den Myriapoden) oder mehr oder weniger ungleichmässig erscheint (Insecten, Arachniden, viele Crustaceen). Je besser die höheren Sinneswerkzeuge, und unter diesen besonders die Augen entwickelt sind, um so höher ist die Ausbildung des Kopfganglions (Fig. 262).

Die Ganglien der Bauchganglienkette sind ursprünglich paarig angelegt, verschmelzen aber meist mehr oder weniger vollständig je zu einem grösseren Ganglion. Von den Ganglien oder hier und da auch von den Kommissuren derselben treten die peripherischen Nerven ab. In der Regel entspringen die Nerven der höheren Sinnesorgane (der Augen und Antennen) von dem Kopfganglion. Die Hörorgane sind dagegen ihrer verschiedenen Lagerung entsprechend mit verschiedenen Nerven verbunden. In die Nerven der Eingeweide sind Ganglien eingebettet, so dass sie ein gewissermassen selbständiges System darstellen, welches functionell mit dem Sympathikus der Wirbelthiere verglichen werden kann.

Bei den Mollusken findet sich ebenfalls ein Nervenschlundring. Auf dem Anfang des Darmrohrs liegt eine paarige Ganglienmasse auf, unter dem Schlund lagert ebenfalls ein paarig gegliedertes Ganglion, alle stehen unter einander durch ringformig verlaufende Verbindungsstränge in Zusammenhang. Aus dem Schlundring geht das peripherische Nervensystem hervor, in welches häufig zahlreiche kleine Ganglien eingelagert sind (Fig. 263). Die in den Armen der Cephalopoden verlaufenden Nervenstränge enthalten ebenfalls zahlreiche Ganglienzellen, welche nach der Abtrennung der Arme (z. B. Hectocotylus) noch als nervöse Centralorgane functioniren (G. Colasanti).

Fig. 262.



Nervensystem von Insecten. *A* von Termes (nach Lespes). *B* eines Käfers (Dytiscus). *C* einer Fliege (nach Blanchard). *gs* Oberes Schlundganglion (Gehirnganglion). *gi* Unteres Schlundganglion. *gr* g^2 g^3 Verschmolzene Ganglien des Bauchmarks. *o* Augen.

Fig. 263.

Nervensystem von Aeolidia. *a* obere Schlundganglien. *b* Kiemenganglien, zum Theil die unteren Schlundganglien, die den oberen direct angefügt sind, verdeckend. *t* Ganglien des Tentakelnerven. *n* Nervenstämme zum Fusse.

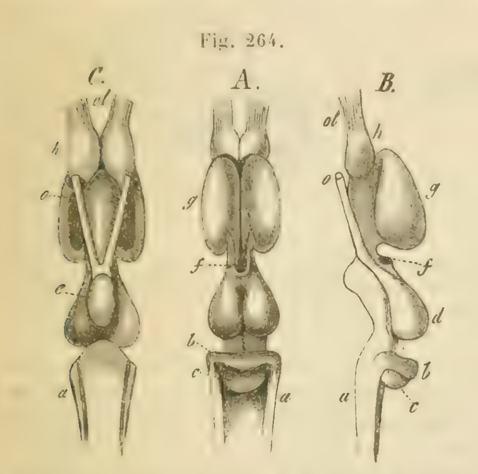
Bei den Wirbelthieren lagern die Centralorgane des Nervensystems in einem über der Axe des Rückgrates gelegenen, von dem oberen Bogensysteme desselben gebildeten Canale. Man trennt das nervöse Centralorgan im Rückenmark und Gehirn, nur bei den niedersten Formen der Wirbelthiere (Myxinoiden) wird diese Trennung undeutlicher. Im Allgemeinen stehen Rückenmark und Gehirn im umgekehrten Verhältniss der Ausbildung, bei den niederen Wirbelthierklassen überwiegt ersteres in seiner Masse oft beträchtlich, am deutlichsten zeigt sich das entgegengesetzte Verhalten bei dem Rückenmark und Gehirn des Menschen.

Die Gehirne der Fische bieten in ihren niedersten Formen (Cyclostomen und unter diesen vor allen Myxinoiden) die einfachsten Verhältnisse dar, die einzelnen Abschnitte verhalten sich bei ihnen ziemlich gleichartig. Bei den höher entwickelten Fischen zeichnet sich das Gehirn meist durch eine ansehnliche Entwickelung der Bulbi olfactorii aus, welche dann als wahre Gehirnlappen erscheinen. Unter den verschiedenen Abschnitten des Gehirnes ist das dem Cerebellum entsprechende Hinterhirn am wenigsten entwickelt, es bildet meist nur eine quer über die Rautengrube verlaufende Kommissur, von der Mitte ragen öfters eine oder mehrere Protuberanzen in die Rautengrube vor (Fig. 264). Sowohl bei den Ganoiden als bei den Teleostiern füllt den grössten Theil des Schädelinnenraumes ein fettzellenhaltiges Bindegewebe aus, zwischen dem Periost der Schädelhöhle (Dura mater) und der eigentlichen

gefässhaltigen Gehirnhülle (Pia mater) gelagert, demnach der Arachnoidea der höheren Wirbelthiere entsprechend. Analog dringt er auch in die Rückgratshöhle vor. Bei manchen Fischen (Selachiern, z. B. Carcharias) zeigt das Mittelhirn durch »Faltung der Oberfläche« (cf. oben Entwickelungsgeschichte) gewissermassen Windungen. Die Medulla oblongata zeigt bei den Fischen eine bedeutende Breite und öfters weitere Differenzirungen, so erhält sich als ein grosser, zweitheiliger Lappen: Lobus electricus, z. B. bei den electrischen Rochen am Sinus rhomboidalis ein Theil des primitiven Daches.

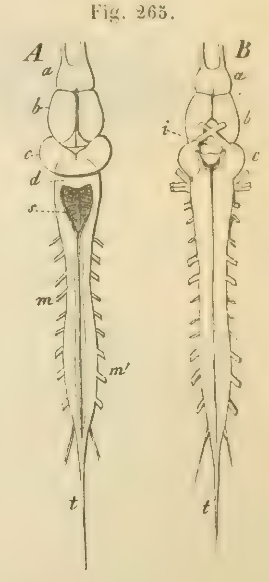
Bei den Amphibien zeigt das Vorderhirn eine Theilung in zwei Hemisphären, nach vorn sitzen, mehr oder weniger vom Vorderhirn differenzirt, die Lobi olfactorii an. Das Cerebellum (Nachhirn) zeigt noch keine höhere Entwickelung (Fig. 265).

Fig. 264.



Gehirn von Polypterus bichir. *A* Von oben. *B* Seitlich. *C* Von unten. *h* Lobi olfactorii. *g* Vorderhirn. *f* Zwischenhirn. *d* Mittelhirn (Vierhügel). *b c* Hinterhirn. *a* Nachhirn (Medulla oblongata). *o l* N. olfactorius. *o* N. opticus. (Nach J. Müller).

Fig. 265.



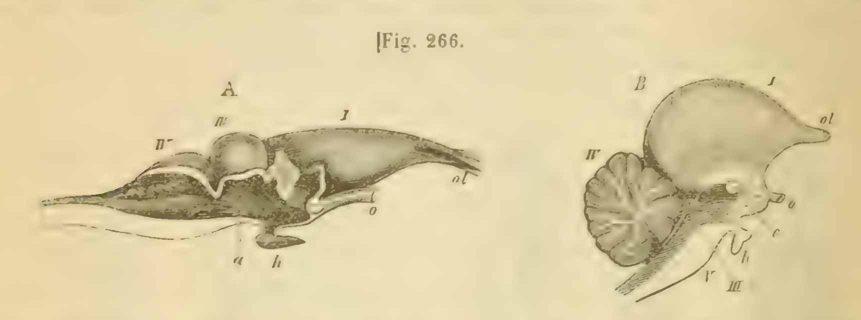
Gehirn und Rückenmark des Frosches. *A* Von oben. *B* Von unten. *a* Bulbi olfactorii. *b* Vorderhirn (Hemisphären). *c* Mittelhirn (Vierhügel). Zwischen *b* und *c* die Sehhügel. *d* Hinterhirn (Kleinhirn). *e* Nachhirn. *i* Infundibulum. *s* Rautengrube. *m* Rückenmark. *t* Filum terminale desselben.

Schon bei den Fischen ist eine Beugung am Zwischen- und Mittelhirn zu erkennen, bei Reptilien (Fig. 266) tritt sie noch deutlicher hervor, und in der Region des Nachhirns kommt eine zweite Beugung hinzu. Das Vorderhirn lagert sich in zwei entwickelten Hemisphären, an die sich nach vorn unmittelbar die Lobi olfactorii anschliessen, über das Zwischenhirn. Das Mittelhirn zeigt eine flache Längsfurche. Bei Schlangen und Eidechsen ist das Hinterhirn noch wenig höher entwickelt, bei den Schildkröten wird es breiter, und bei den Krokodilen beginnt eine Trennung in zwei Hemisphären. Noch weiter nähert sich das Gehirn der Vögel dem der Säugethiere, indem hier das Cerebellum das Nachhirn fast vollkommen deckt und sein mittlerer Abschnitt eine deutliche Ausbildung von querstehenden Blättern besitzt (Fig. 266). Bei Papageien finden sich Andeutungen von wahren Windungen auf der Gehirnoberfläche. Die Corpora striata zeigen sich schon bei den Amphibien, sie sind bei den Reptilien stärker entwickelt und bilden als von der seitlichen Wand in die Gehirnhöhle hereinwuchernde Ganglienmassen bei den Vögeln den grössten Theil des Vorderhirns.

Bei dem Gehirne der Säugethiere rücken die Bulbi olfactorii an die Unterfläche des Gehirns. Die Längsspalte, welche die Hemisphären trennt, zeigt auch vorn eine beträchtliche Tiefe. Die hinteren Abschnitte der Hemisphären entwickeln sich mehr und mehr. Am tiefsten

stehen die Gehirne der Monotremen und Beutelthiere. Bei Menschen und den höheren Affen überlagert das Vorderhirn auch das Cerebellum (Hinterhirn), es bildet sich dabei eine hintere Fortsetzung der Seitenventrikel aus, in welche der Pes hippocampi minor (Mensch, Orang) hereinragt. Bei Beutelthieren, Nagern und Insectenfressern werden die Vierhügel nicht vollkommen bedeckt. Die Oberfläche der grossen Hemisphären ist entweder glatt oder zeigt mehr oder weniger denen des Menschen entsprechende Windungen. Ganz glatt ist die Oberfläche der Hemisphären bei Ornithorhynchus, bei carnivoren und insectivoren Beutlern

Fig. 266.



A Gehirn einer Schildkröte (nach Bojanus). *B* Eines Vogels. Senkrechte Medianschnitte. *I* Vorderhirn. *III* Mittelhirn (Vierhügel). *IV* Nachhirn. *ol* Olfactorius. *o* Opticus. *h* Hypophysis. *a* (in *A*) Verbindung beider Hemisphären des Mittelhirns. *c* Commissura anterior.

und Edentaten. Spuren von Windungen zeigen sich bei Echidna, den meisten Nagern, Insectivoren, Chiropteren, bei manchen Prosimiae und Arctopitheci. Besser entwickelt sind sie bei den Carnivoren, dann folgen Cetaceen und Ungulaten. Bei den meisten Affen ist ihre Anordnung einfacher, bei den höheren Affen nähern sie sich mehr und mehr denen des Menschengehirns. Bei Delphinen und Elephanten sind die Windungen sehr zahlreich. Auch die Windungen des Cerebellum zeigen bedeutende Mannigfaltigkeiten, ihre Anordnung ist bei Ungulaten sehr auffallend unsymmetrisch. Bei Carnivoren findet sich Verknöcherung des Tentorium cerebelli.

Unter den Gehirnorganen verlangt noch das Chiasma nervorum opticorum einige Worte. Es findet sich in verschiedener Entwickelung. Bei den Cyclostomen verlaufen die Optici jederseits zu dem betreffenden Auge und verbinden sich nur nahe an ihrer Austrittsstelle aus dem Gehirn durch eine Kommissur. Neben der Kommissur findet eine vollständige Durchkreuzung statt bei den Knochenfischen. Indem der eine meist über den anderen wegläuft, gelangt der Opticus der rechten Hirnseite zum linken, der der linken Seite zum rechten Auge. In einigen Fällen, z. B. bei Clupea tritt der eine Opticus durch eine Spalte des andern hindurch. Bei den übrigen Fischen und Wirbelthieren scheint immer nur eine theilweise Kreuzung vorzukommen.

Durch Offenbleiben der Medullarrinne bildet sich auf der Lendenanschwellung des Rückenmarks der Vögel eine rautenförmige Einsenkung (Sinus rhomboidalis). Das Rückenmark füllt nicht den ganzen Winkelcanal aus, beim Frosch und bei Vögeln findet sich wie bei Säugern eine Cauda equina.

Die beiden Anschwellungen des Rückenmarks, an den Stellen, aus denen die Nerven der oberen und unteren Extremität hervorgehen, fehlen denjenigen Thieren, bei denen die Extremitäten verkümmert sind, z. B. den Schlangen und fusslosen Eidechsen.

II. Sympathicus.

Zum Bau des Sympathicus.

Wir finden an vielen Stellen des Körpers ausserhalb der eigentlichen nervösen Centralorgane Ganglienzellen, einzeln oder in Gruppen vereinigt mit Nervenfasern in Verbindung stehend. Man pflegt die Gesammtheit dieser Gebilde, das sympathische Nervensystem, als ein nervöses Centralorgan von analoger Dignität wie Rückenmark und Gehirn anzusprechen.

Sympathische Ganglienzellen (Fig. 267) finden sich vor Allem an den der Willkür entzogenen Bewegungsorganen und Sekretionsorganen des Körpers, also vor Allem an den Drüsen, in den glatten Muskelfasern; sie bewegen den Darm und alle Eingeweide, das Herz (der einzige Fall der Beeinflussung quergestreifter Muskelfasern durch den Sympathicus) etc., sie kommen aber auch sonst am peripherischen Nervensystem in ziemlicher Menge vor. In den nervösen Endapparaten der Sinnesorgane trafen wir überall auf Zellen, welche sich durch den Zusammenhang mit Nervenfasern als wahre Nerven- oder Ganglienzellen documentirten.

Fig. 267.

Ein sympathisches Ganglion des Säugethieres, schematisirt. *a, b, c* Die Nervenstämme: *d* multipolare Zellen (*d** eine mit sich theilender Nervenfaser): *e* unipolare; *f* apolare.

Die genannten Bewegungsorgane haben in ihren Ganglienzellen gleichsam kleine, eigene Gehirne und Rückenmarke, d. h. nervöse Centralapparate, die ihre Bewegungen vermitteln, auch dann noch, wenn die betreffenden Organe dem Einfluss der grossen Nervencentren entzogen sind. Ein ausgeschnittenes Froschherz schlägt noch, angetrieben durch die in ihm gelegenen Ganglien, stundenlang fort; nach der Zerstörung des Rückenmarkes bei Fröschen nehmen die organischen Vorgänge der Verdauung, der Sekretionen, der Blutcirkulation, der grösste Theil der unwillkürlichen Bewegungen noch ihren Fortgang (BIDDER).

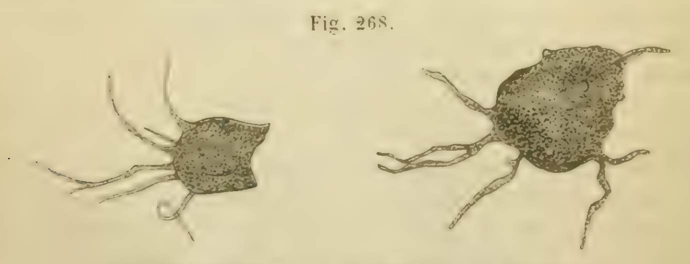
Diese Zellen und Nervenfasern, auf deren stillem Einflusse die eigentlich organischen, unwillkürlichen Bewegungen und Vorgänge im höheren animalen Organismus beruhen, stehen trotz ihrer funktionellen Sonderung doch mit dem Centralnervensystem in Verbindung. So unbewusst im normalen Verlaufe die unserem Willen nicht unterworfenen Thätigkeiten unseres Körpers vor sich gehen, so schmerzlich können sie sich bei krankhaften Störungen der Organfunktionen unserem Bewusstsein aufdrängen zum Beweise, dass die Nerven der betreffenden Organe, wenn sie auch in Folge des Besitzes ihrer eigenen Ganglien eine gewisse Selbständigkeit zu erkennen geben, doch mit dem Sensorium

oder vielmehr mit den Zellen der grauen Masse der Grosshirnhemisphären in directem Zusammenhange stehen. Diese Verbindung documentirt sich auch darin, dass wir, obgleich uns ein directer willkürlicher Einfluss auf diese Ganglienerven nicht zukommt, ihre Thätigkeit doch gleichsam auf Umwegen zu modificiren vermögen, wofür der Einfluss spricht, den unsere Gemüthsstimmung, z. B. auf die Herzbewegung oder die Verdauung auszuüben vermag.

In anatomischer Beziehung rechtfertigt sich die systematische Abtrennung der sympathischen Nervenzellen und Nerven von dem centralen Nervensystem dadurch, dass sie durch eine Anzahl in ihren Ganglien entspringender Nervenfasern, Ganglienfasern des Sympathicus, wirklich eine Selbständigkeit für sich in Anspruch nehmen. Doch nehmen sie auch eine bedeutende Anzahl von Fasern in sich auf, durch die sie mit dem Gehirn und Rückenmarke in Verbindung stehen. Die Hauptmasse des Sympathicus ist bei dem Menschen in zwei Strängen vereinigt, von denen man jeden als Grenzstrang des Sympathicus bezeichnet. In regelmässigen Abständen schwillt er zu Ganglien, Zellenanhäufungen, an, welche neben den Ganglienzellen aus in diesen entstandenen Nervenfasern und aus einer Anzahl in das Ganglion eintretender Rückenmarksfasern bestehen. Der Sympathicus ist also (Gegenbaur) ein Abschnitt des peripherischen Nervensystems, der sich durch Verbindung mit zahlreichen Ganglien zu einem gewissen Grade von Selbständigkeit erhebt. Seine Zweige versorgen vorzugsweise die Ernährungsapparate (Darmcanal, Gefässsystem, Athmungsorgane) und den Urogenitalapparat. Im Allgemeinen zeigt sich der Bau des sympathischen Nervensystems in der Art, dass Zweige von Rückenmarks- oder Hirnnerven zu Ganglien herantreten, welche durch Längsnervenstränge unter sich in Verbindung stehen und selbst Nervenäste abgeben. Die cerebrospinalen Wurzeln der Ganglien kann man so als Eingeweideäste der Cerebrospinalnerven betrachten, welche vor ihrer Verzweigung aus den Ganglien neue Elemente beigemischt erhalten. Indem sich die einzelnen nach den Wirbelsegmenten geordneten Ganglien durch Kommissuren verbinden, kommt die Bildung der Grenzstränge des Sympathicus zu Stande.

Die Ganglien oder Nervenknoten des Sympathicus (S. Mayer) sind von einer bindegewebigen, Blutgefässe führenden Hülle, welche Fortsätze in das Innere

Fig. 268.



Zwei multipolare Zellen, eine vom Kind, eine vom Erwachsenen.

zwischen die einzelnen Zellen entsendet, umschlossen. Jedes Ganglion hat einen zu- und einen abtretenden Nerven, deren Fasern die Nervenzellen meist sehr unregelmässig umlaufen.

Die sympathische Ganglienzelle zeigt im Allgemeinen die Eigen-

schaften der cerebrospinalen Nervenzellen, doch finden sich je nach ihrer Lagerung ziemliche Formenverschiedenheiten. Am öftersten ist ihre Gestalt oval, rund, birnförmig oder spindelförmig, manche zeigen eine rechteckige Begrenzung im Ganglion coeliacum (Bidder) und an anderen Orten (S. Mayer). Die sympathische Ganglienzelle besitzt keine Zellenmembran, doch ist sie von einer bindegewebigen, der Schwann'schen Nervenscheide analogen Kapsel umgeben, welche nach Fränzel beim Menschen und verschiedenen Thieren auf der Innenfläche ein polygonales Plattenepithel trägt. Vom Kern und Kernkörperchen ausstrahlend finden sich in der Zellsubstanz zahlreiche Fibrillen, Fädchen (Arnold, Courvoisier, S. Mayer), welche die oft doppelt in einer Zelle vorkommenden Kerne mit einander in Verbindung setzen (Bidder, S. Mayer).

Kölliker u. A. behaupten das Vorkommen apolarer sympathischer Zellen. An der Mehrzahl der Zellen lassen sich aber sicher mehrere Ausläufer nachweisen, denen der cerebrospinalen Zellen entsprechend. Doch ist die Anordnung der Fortsätze meist eine andere als bei jenen. Nur hier und da scheint ein Axencylinderfortsatz oder sogar mehrere neben verästelten Fortsätzen aus der Zelle hervorzutreten. Oft entspringen (bei Fröschen und Säugethieren) aus dem schmalen Ende glockenförmig gestalteter Nervenzellen zwei Fasern, die eine läuft in gerader Richtung fort: gerade Faser, die andere legt sich in mehr oder weniger ausgesprochenen Spiraltouren um die erstere herum: Spiralfaser. Beide gehen schliesslich in wahre Nervenfasern über und trennen sich in ihrem weiteren Verlauf (Beale, Arnold, Courvoisier, Kollmann u. A.). Die gerade Faser soll aus dem Kern oder Kernkörperchen entspringen. Die Spiralfaser geht aus dem in der Zelle gelegenen Fasernetze hervor. Nach Courvoisier's Durchschneidungsversuchen soll die gerade Faser cerebrospinal, die Spiralfaser sympathisch sein, Bidder nimmt das Gegentheil an.

Fig. 269.

Ganglienzelle aus dem Sympathicus des Laubfrosches (nach Beale). *a* Zellenkörper; *b* Hülle; *c* gerade nervöse Faser und *d* spiralige Fasern; Fortsetzung der ersteren *e* und der letzteren *f*.

Im Sympathicus finden sich alle Gattungen von Nervenfasern, vor Allem feine und mittelstarke markhaltige Fasern und die oben beschriebenen verschiedenen Formen markloser Fasern.

Zur vergleichenden Anatomie. — Den Leptocardiern scheint das sympathische Nervensystem zu fehlen, auch bei den Cyclostomen ist sein Verhalten noch wenig aufgeklärt. Unter den Fischen findet sich bei den Selachiern der Grenzstrang längs der Leibeshöhle, bei Teleostiern ragt er in die Caudalregion. Wenig ausgebildet ist der Grenzstrang bei den Schlangen, sie besitzen auf grössere Strecken einfache Rami intestinales. Bei Krokodilen und Vögeln trennen sich am Halstheile die Längsstämme, der Hauptstamm liegt im Vertebralcanal, der Sympathicus medius begleitet die Carotiden, hängt aber an mehreren Stellen durch Quer-

verbindungen mit dem tieferen Strange zusammen. Ein analoges Verhalten zeigen die Schildkröten. Bei Säugethieren lagert der Sympathicus ähnlich wie bei dem Menschen. Ueber das Eingeweidenervensystem der wirbellosen Thiere Arthropoden cf. oben S. 908.

Physiologische Wirkungen des Sympathicus.

Die Physiologie des Sympathicus stimmt in ihren Grundgesetzen mit der des cerebrospinalen Systems überein. In Beziehung auf die Reiz- und Durchschneidungsversuche am Sympathicus muss daran erinnert werden, dass diese bis jetzt nur den Durchtritt von Fasern mit gewissen physiologischen Funktionen durch ihn erweisen, über deren wohl vielfach cerebrospinalen) Ursprung aber zunächst Nichts aussagen.

Unter den im Sympathicus verlaufenden Nervenfasern können wir sekretorische, motorische und excitomotorische Fasern unterscheiden, wie man in Beziehung auf die Reflexthätigkeitserregung die centripetal leitenden sensitive Fasern zu nennen pflegt. Der wesentlichste Unterschied, der zwischen den beiden Systemen existirt, ist die mangelnde Verbindung der motorischen sympathischen Fasern mit den Bewegungscentren des Willens die von ihnen vermittelten Bewegungen sind unwillkürlich und dann die geringe Wegsamkeit, welche die sensiblen Bahnen — Nervenfasern — zeigen, mit denen der Sympathicus mit den Empfindungsmittelpunkten des Sensoriums zusammenhängt. Die Reize müssen sehr starke, krankhafte sein, bis einmal die durch sie gesetzte Veränderung in den sensiblen Fasern zum Bewusstsein gelangen kann.

Cl. Bernard gab an, im Systeme des Sympathicus selbst einen Reflexvorgang aufgefunden zu haben. Auf Geschmacksreize der Schleimhaut des Mundes geht die Speichelsekretion in gesteigertem Maasse vor sich. Man kann sich diesen Vorgang veranschaulichen, indem man annimmt, dass von den sensiblen Mundnerven aus ein Reiz reflektirt wird auf die sekretorischen Fasern der Speicheldrüsen. Die Submaxillardrüse erhält wie die anderen Speicheldrüsen ihre Nerven aus zwei Quellen: sympathische und cerebrospinale. Die letzteren verlaufen für sie in der Chorda tympani zum Lingualis, das betreffende Stück des letzteren wird Truncus tympanico-lingualis genannt. Von diesem treten die Nerven in das Ganglion submaxillare ein und von da in die Drüse. Mit der Durchschneidung des Truncus tympanico-lingualis ist also die Verbindung der Drüse mit dem Centralnervensystem aufgehoben, trotzdem findet der Reflexvorgang auf Reizung hier auch dann noch statt, zum Beweise, dass derselbe in dem Ganglion submaxillare selbst, dem einzigen noch übrigen nervösen Centralorgane, seinen Sitz hat. Eckhard zweifelt jedoch nach Experimenten die Thatsache an (S. 1032).

Ausser diesem noch zweifelhaften Reflexvorgange finden sich im Sympathicus automatische Bewegungs- und Sekretionscentren.

Wir haben die allein vom Sympathicus abhängenden Bewegungen des ausgeschnittenen Herzens erwähnt. Die Forschung unterscheidet zwei solche automatische Centren im Herzen, die in ihrem Thätigkeitserfolge einander entgegengesetzt sind. Das eine automatische Centrum bewirkt durch seine Erregung

die rhythmischen Bewegungen des Herzens. Das andere wirkt hemmend auf die durch das erste eingeleiteten Bewegungen.

Wir haben hier ein Beispiel der Thätigkeit jener eigenthümlichen Nervengruppe, welche durch ihre Erregung, anstatt Thätigkeit der mit ihnen verbundenen Organe auszulösen, bestehende Bewegungen in ihnen verlangsamt oder vernichtet: der sogenannten Hemmungsnerven. Wir lernten als ein derartiges nervöses Organ das Reflexhemmungscentrum im Gehirne kennen, wodurch der Wille in cerebrospinalen Nervenbahnen Bewegungen zu unterdrücken vermag. Hier haben wir ein Hemmungsorgan im sympathischen Systeme im Herzen selbst gelegen, auf seiner Thätigkeit beruht die regelmässige Rhythmik der Herzbewegung, stärkere Reizzustände in ihm können die Herzbewegung sogar vollkommen aufhören machen. Der Vagus besitzt einen Einfluss auf dieses Hemmungscentrum im Herzen, indem seine Erregung die Erregung desselben und damit Verlangsamung und schliesslich völliges Aufhören der Bewegungen des Herzens veranlasst. Der Vagus wird dieser Wirkung wegen als Hemmungsnerv beschrieben. Ausser dem Vagus und dem Reflexhemmungscentrum wird noch ein Hemmungsnerv dem sympathischen Systeme zugerechnet. Pflüger fand, dass Reizung des Splanchnicus major die peristaltischen, vom Sympathicus abhängigen Bewegungen des Darmes aufhebt.

Wir sahen im cerebrospinalen Systeme die einzelnen Bewegungen der von ihm abhängigen Organe zu für den Organismus zweckmässigen Bewegungsgruppen verbunden, und sahen, dass wir dafür Coordinationscentren voraussetzen müssen, welche durch einen einzigen äusseren Anstoss in Gesammtthätigkeit gerathen können. Solche geordnete Bewegungen zeigen auch die vom Sympathicus versorgten Organe, so dass wir auch in ihm Coordinationscentren voraussetzen müssen. Eine solche coordinirte Bewegung zeigt, wie wir gesehen, vor allem das Herz, dessen einzelne Abschnitte sich in zweckmässiger Reihenfolge zusammenziehen und erschlaffen. Auch die peristaltischen Darmbewegungen sind dafür ein Beispiel, bei denen auch in einer für den Gesammtorganismus, für die Fortbewegung des Darminhaltes zweckmässigen Weise sich die Contractionen über das gesammte Darmrohr hinwegziehen. Auch die Contractionen der übrigen Eingeweide, z. B. des schwangeren Uterus bei der Geburt, sind hierher zu rechnen.

Das sympathische System steht, wie wir gesehen haben, in vielseitigem Zusammenhang mit dem cerebrospinalen Systeme. Die Einwirkung des Vagus auf die Herzbewegung ist dafür ein experimenteller Beweis, ebenso die Einwirkung der sensiblen Reizung der Mundschleimhaut auf die Submaxillardrüse. Auch vom sympathischen Systeme aus werden fort und fort cerebrospinalen Nervencentren Erregungszustände zugeleitet. Wir sprachen oben von der Einwirkung der durch den Vagus dem Athemcentrum zugeleiteten Erregung, welche zum Theil im sympathischen Systeme, das die Eingeweide innervirt, ihren Grund hat.

Auf den Bahnen des Sympathicus werden der glatten Muskulatur der Blutgefässe die cerebrospinalen Erregungen zugeleitet. Ihr normaler Contractionszustand, in dem wir sie in normalem Verhalten verharren sehen (Tonus) ist von der Einwirkung des Sympathicus abhängig; in letzterem laufen Nerven, nach deren Durchschneidung sich die Gefässe durch Erschlaffung ihrer Muskel-

wände, die nun dem Blutdruck nachgeben, erweitern. Das bekannteste, experimentelle Beispiel für diese Wirkung des Sympathicus ist der Erfolg seiner Durchschneidung am Halse (Cl. Bernard), auf welche eine Erweiterung der Blutgefässe, mit gesteigerter Wärmeabgabe an den davon betroffenen Stellen auf der ganzen betroffenen Kopfseite erfolgt. Reizt man dagegen den Sympathicus, so ziehen sich die von der gereizten Stelle versorgten Arterien zusammen. Gleichzeitig zeigen sich dabei natürlich seine Einflüsse auf alle von ihm innervirten Organe. A. v. Bezold zeigte, dass Sympathicusreizung am Halse den Rhythmus der Herzbewegung beschleunige. Wir sahen, dass gleichzeitig die Speichelabsonderung erregt wird und eine veränderte chemische Richtung erhält, dabei zeigt sich die Pupille erweitert.

Knoll hat nachgewiesen, dass die auf electrische Reizung der Vierhügel eintretende Erweiterung beider Pupillen ausbleibt, wenn der Sympathicus am Halse durchschnitten ist.

Die Reizung des Brust- und Bauchtheils des Sympathicus, sowie seines Plexus veranlasst: Bewegungen des Darmes, der Harn- und Geschlechtsorgane, gleichzeitig mit Beeinflussung der Arterienmuskulatur. Auch die Milz soll sich durch Reizung des Plexus lienalis zusammenziehen und verkleinern.

Der Sympathicus hat sekretorische Fasern für die Speicheldrüsen und die Thränendrüse. Einflüsse auf eine Anzahl anderer Sekretionen werden vermuthet.

Ausser den bisher besprochenen Wirkungen werden dem Sympathicus auch trophische, ernährende Einflüsse auf die Organe zugeschrieben. Man glaubt, dass eine regelmässige Innervation vom sympathischen Nervensysteme aus nothwendig sei, um die Organernährung in richtiger Weise vor sich gehen zu lassen. Man deutet in diesem Sinne die allgemeine Verbreitung der sympathischen Fasern, die sich sogar in die cerebrospinalen Nervencentren zu diesem Zwecke hineinbegeben. In gewissem Sinne können auch den motorischen und sekretorischen Fasern trophische Einflüsse zugeschrieben werden. Wir wissen, dass Nichtgebrauch, mangelnde Innervation, die Organe atrophiren, fettig entarten lässt. Die Lähmung (Durchschneidung) der motorischen und sekretorischen Fasern hat daher stets Ernährungsstörungen in den gelähmten Organen im Gefolge.

Zusammenstellung der Versuchsergebnisse über die Sympathicuswirkung.

I. Kopftheil des Sympathicus.

Der Reflexvorgang im Ganglion submaxillare (G. linguale, Bernard). Wenn man den Nervus lingualis (Truncus tympanico-lingualis) vor seiner Verbindung mit dem Ganglion durchschneidet, so dass dadurch der Zusammenhang des N. lingualis mit dem Gehirn, nicht aber mit dem Ganglion aufgehoben ist, so kann man durch chemische und electrische Reizung der peripherischen Zweige dieses Nerven noch Speichelabsonderung erregen. Eckhardt streitet die Wirkung der chemischen Reize an, und will die auch von ihm gesehene Wirkung der elektrischen Reizung auf Stromschleifen zurückführen, welche die Speichelnerven direct erregen.

II. Halstheil des Sympathicus.

Wirkung des Sympathicus auf die Pupille. Nach nicht zu tiefer Durchschneidung des Grenzstranges beobachtet man, wenn die durch den Reiz der Durchschneidung zunächst gesetzte Erweiterung der Pupille vorüber gegangen ist, bleibende Pupillenverengerung. Reizt man den centralen Sympathicusstumpf, so tritt Pupillenerweiterung ein. Die Verengerung der Pupille erfolgt also durch das Aufhören eines durch den Sympathicus geleiteten Nervenreizes (Valentin, Biffi). Budge fand, dass auf Reizung die Erweiterung der Pupille (beim Kaninchen und Hunde) nur vom unteren Halsganglion aufwärts erfolgt, und dass die im Grenzstrang aufsteigenden, die Pupille beeinflussenden Fasern aus dem Rückenmarke stammen und zwar direct aus dem Stücke desselben, das zwischen den ersten drei Brustwirbeln eingeschlossen ist: Centrum ciliospinale; über ein höher gelegenes Centrum derselben Function cf. oben. Auch nach Durchschneidung des Ganglion Gasseri tritt bleibende Pupillarverengerung in noch höherem Grade als nach Sympathicusdurchschneidung ein. Reizung des centralen Sympathicusstammes hat ein Hervortreten des Augapfels aus der Augenhöhle: Exophthalmus, zur Folge.

Die Durchschneidung des Sympathicus am Halse erhöht die Temperatur am Kopf und Halse. Es erfolgt dieses durch Lähmung der Gefässmuskeln und dadurch gesteigerten Blutandrang (vasomotorische Fasern, aus dem Cerebrospinalsystem).

Reizung des centralen Endes des durchschnittenen Halssympathicusstammes erregt Absonderung in den Speicheldrüsen und der Thränendrüse (sekretorische Fasern).

Nach Reizung des Sympathicus am Halse erfolgt Beschleunigung des Herzschlages (beschleunigende Fasern für das Herz).

Weiter wird von den Brüdern Cyon angegeben, dass durch den dritten Ast des untersten Halsganglions (und das häufig mit demselben vereinigte Ganglion stellatum, das oberste Brustganglion) beschleunigende Fasern zum Herzen geleitet werden. Der erste und zweite Ast sollen die Ursprünge der depressorischen Fasern sein. In dem Halstheile des Sympathicus sollen auch sogenannte pressorische Fasern verlaufen, welche das cerebrospinale Gefässcentrum erregen. Er soll auch zum Cerebrospinalsysteme verlaufende hemmende Fasern für die Herzbewegung enthalten (cf. Herz und Gefässnerven).

III. Brust- und Bauchtheil des Sympathicus.

Das oberste Brustganglion, Ganglion stellatum, das oft mit dem letzten Halsganglion verbunden ist, führt beschleunigende Nervenfasern dem Herzen zu, sie gelangen durch den Halsgrenzstrang und durch die mit der Arteria vertebralis verlaufenden Fasern zum Ganglion (A. von Bezold und Bever). Der Plexus cardiacus enthält vom und zum Herzen verlaufende Nervenfasern vom Vagus, Depressor, Sympathicus.

Nervi splanchnici. Sie sind überwiegend cerebrospinaler Natur (Rüdinger). Sie üben *a*) eine hemmende Einwirkung auf die Darmbewegungen, die sie aber (Ludwig, Nasse u. A.) unter Umständen auch anregen können. *b*) Sie erregen rhythmische Arteriencontractionen und steigern dadurch den Druck im arteriellen Blutgefässsystem (v. Bezold) und führen überhaupt die vasomotorischen Fasern für die Unterleibsgefässe. Sie sollen auch centripetal verlaufende Fasern haben, welche reflektorisch hemmend auf das Herz wirken. *c*) Man behauptet (Bernard), dass nach Durchschneidung des Nervus splanchnicus major beim Kaninchen der Harn reichlicher aus den Ureteren abfliesse; Reizung des peripherischen Endes vermindere den Harnabfluss. *d*) Gräfe und Eckhardt behaupten, dass nach Splanchnicusdurchschneidung Zucker im Harne auftrete.

Ganglien des Grenzstranges. Nach Bernard sollen die Fasern, welche, im Halstheile des Sympathicus verlaufend, die Gefässweite und Temperaturabgabe am Halse und

Kopf reguliren (cf. oben), wahrscheinlich vom zweiten Ganglion des Bruststammes kommen. Für die vorderen Extremitäten sollen die Fasern mit der gleichen Function aus dem ersten Brustganglion austreten. Vielleicht haben die übrigen Ganglien in der Brust eine ähnliche Aufgabe für Brust und Rücken. Die Regulirung der Temperaturabgabe und der Gefässweite der unteren Extremitäten (Bernard) erfolgt durch Wirkung der Ganglien, welche mit dem Lumbosacralgeflecht in Verbindung stehen.

Reizung des Bauchtheils des Grenzstranges und seiner Plexus soll in den benachbarten Organen Bewegung veranlassen oder vorhandene verstärken. Darm, Milz, Ureteren, Harnblase, Uterus, Samenblasen sollen unter diesem Einfluss stehen. Nach Durchschneidung sah man Circulations- und trophische Störungen. Auf Exstirpation des Ganglion cardiacum beobachtete Lamanski temporäre Verdauungsschwäche (Entleerung unverdauter Nahrung). Eine Reihe von Forschern (Frankenhäuser u. A.) haben sich mit der Erregung der Contractionen des Uterus beschäftigt. Letztere treten ein durch Reizung der Plexus hypogastrici, aber ebenso durch Reizung am ganzen Rückenmark und am Kleinhirn, wo möglicher Weise das automatische Bewegungscentrum liegt. Die cerebrospinalen Fasern erhalt der Uterus vorzüglich aus dem Abschnitt, der dem letzten Brustwirbel und dem 3. und 4. Lendenwirbel entspricht.

Die **Nebennieren** werden von Einigen dem sympathischen Systeme beigezählt, da sie sehr reich an Nervenzellen sind. Nach Addison stehen sie mit der Pigmentbildung in einem unaufgehellten Zusammenhang, ihre Entartung soll eine abnorm dunkle Färbung der Haut veranlassen (Bronzed skin, Addison'sche Krankheit).

Physiologie der Zeugungsdrüsen.

Siebenundzwanzigstes Capitel.

Die Zeugungsdrüsen. Hoden und Eierstock.

Die Function der Zeugungsdrüsen.

Die Zeugungsdrüsen sind in ihrer Function wesentlich von den bisher besprochenen Drüsen verschieden. Ihre Bestimmung ist nicht wie die fast aller übrigen Körperorgane auf die Erhaltung des Individuums, sondern auf die Erhaltung und Fortpflanzung der Species gerichtet. Und auch noch weitere nicht weniger durchgreifende Unterschiede scheinen zu existiren. Während die Mehrzahl der sonstigen Drüsensekrete amorphe Flüssigkeiten sind, erscheinen bei den Zeugungsdrüsen als das Wesentliche der Ausscheidungen geformte Bestandtheile, Zellen oder Körper von der Dignität einer Zelle, die Eizellen und die Samenfäden, die nach den neuesten Beobachtungen als »kleine Flimmerzellen« (Pflüger) bezeichnet werden dürfen. Die amorphen Drüsensekrete haben zunächst gewisse chemische Wirkungen auf Bestandtheile des Organismus selbst oder auf die zur Einverleibung in den Körper bestimmten Nahrungsstoffe auszuüben; die Thätigkeit der Zeugungsdrüsen gipfelt sich dagegen in formativen Leistungen. Wir sehen männliche und weibliche Keimzellen mechanisch mit einander verschmelzen, um die Grundlage eines neuen Zellenbaues zu werden.

Wir dürfen hier aber nicht vergessen, dass die Thätigkeit auch einer Reihe anderer Drüsen, der Lymphdrüsen und Blutbildungsdrüsen vornehmlich, auch in der Produktion von Zellen besteht, die kaum weniger als die einzelnen Keimzellen bis zu einem gewissen Grade ein individuelles Leben führen. Wir sehen die Lymphzellen physiologisch umgestaltend, z. B. auf die in der Verdauung aufgenommenen Flüssigkeiten einwirken, denen sie erst das Gepräge des Lebens aufdrücken; die Beobachtungen Cohnheim's u. A. haben uns gelehrt, dass solche aus dem Gefässsystem in die Gewebe ausgetretene und dadurch gleichsam selbständig gewordene Zellen ihr individuelles Leben noch weiter documentiren durch Bildung neuer Zellen, die sich sogar an dem Gewebsaufbau betheiligen können. Der Unterschied zwischen den formativen Leistungen der

Keimzellen und der Zellen aus anderen Drüsen und Körperorganen scheint also vor Allem darin zu beruhen, dass die letzteren doch meist nur Zellen produciren, die den Mutterzellen analog sind, während die Vermehrung der Keimzellen die verschiedenartigsten Zellen, Gewebe, Organe hervorbringt, welche alle sich zu einem Gesammtorganismus gruppiren, derselben Art, wie diejenigen, von denen die Keimzellen stammten.

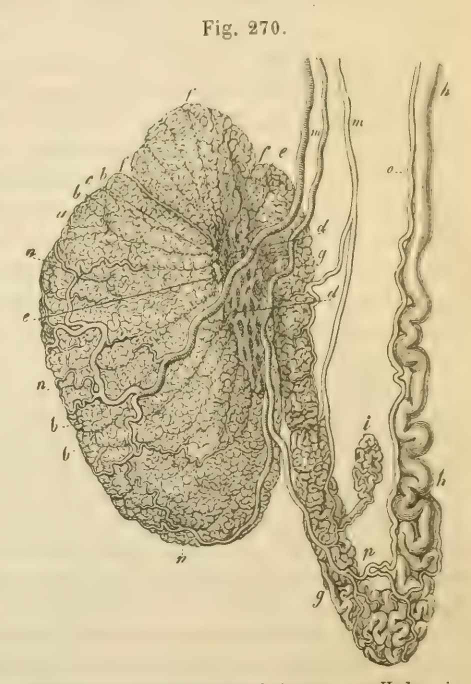
Doch auch dieser Unterschied erleidet bei der Vergleichung der Zeugungs- und Neubildungsvorgänge in der Thierreihe die wesentlichste Beschränkung. Die ungeschlechtliche Fortpflanzung durch freiwillige Theilung und Sprossung, und vor Allem die Fähigkeit der Reproduktion ganzer verlorener Organe, welche im Thierreiche so verbreitet ist, und die z. B. bei den Hydren darin gipfelt, dass willkürlich abgetrennte Stücke wieder zu einem vollkommenen Gesammtindividuum auswachsen können, beweisen, dass die Fähigkeit zur Bildung heterogener Zellen und Gewebe, welche in der Bildung eines neuen Individuums ihren Höhepunkt erreicht, nicht allein den Keimzellen, sondern im Principe jeder einzelnen vollkommen lebensfähigen Zelle des Organismus zugeschrieben werden darf. Die bei den Wirbelthieren nothwendige Vereinigung der Eier mit dem männlichen Keime kann hiegegen keinen Einwurf begründen. Die Betrachtung des Zellenlebens im ersten Capitel hat uns gezeigt, dass zur Zellvermehrung, auf welcher auch die Entstehung eines neuen Gesammtorganismus aus den Keimzellen beruht, eine Konjugation zweier heterogener Protoplasmakörper: der Eizelle und der Samenkörper, nicht absolut erforderlich ist. Auch bei den Säugethieren, wie bei allen Wirbelthieren, macht die Eizelle die ersten Stadien der Entwickelung ohne Befruchtung, ohne Vereinigung mit den Elementen des männlichen Samens durch (Bischoff, Oellacher), bei der Parthenogenesis der wirbellosen Thiere schreitet die Umbildung des unbefruchteten Eies bis zu den letzten Zielen der Entwickelung vor (v. Siebold u. A.).

Der Hoden und sein Sekret.

Der Hoden, Testis, ist eine Drüse, deren secernirende Elemente aus sehr zahlreichen, ausserordentlich langen, engen, gewundenen Röhren, den Hodencanälchen oder Samencanälchen, Tubuli seminales, bestehen. Abgesehen von den übrigen als bekannt vorausgesetzten Hüllen wird seine Drüsensubstanz umschlossen von einer festen, ziemlich dicken, weisslichen fibrösen Haut, der Tunica albuginea s. propria testis, welche aus Bindegewebsfibrillen mit feinen, spärlichen, elastischen Fasern besteht. Sie sendet von ihrer ganzen Innenfläche zahlreiche platte Fortsätze als unvollkommene Scheidewände, Septula testis, aus; nach dem hinteren Rande zu verdickt sie sich und dringt als Corpus Highmori, zu welchem die Septula verlaufen, in die Drüsensubstanz ein. Durch diese und analoge vom Corpus Highmori ausgehende Septa, Scheidewände, wird die eigentliche Drüsensubstanz in unvollkommen getrennte kegelförmige Abschnitte, Läppchen zertheilt, deren Spitzen sich dem Corpus Highmori zukehren (Fig. 270). In dem interstitiellen Bindegewebe finden sich Zellenhaufen, die den indifferenten Zellen der Bindesubstanz zuzurechnen sind (Kölliker). In dem Faserwerke der Septula liegen, 1—3 in jedem Fache, viel-

fach gewunden und zusammengerollt die gewundenen Samencanälchen, welche die Sekretionszellen enthalten. Sie beginnen theils mit blinden Enden (knospenähnlichen Ausbuchtungen der Wand Mihalkovics), theils mit Anastomosen. Indem sie sich dem Corpus Highmori nähern, nehmen sie in jedem Läppchen eine gestrecktere Richtung an und werden, indem sie sich öfters mit Nachbarcanälchen vereinigen, zu einem geraden Gang, Tubulus rectus. Die Tubuli recti treten in das Corpus Highmori ein, wo sie zu dem Hodennetze, Rete testis, zusammenfliessen, aus dessen oberem Theile 12—14 weitere, anfänglich gestreckt verlaufende Canäle, Vascula efferentia, entspringen, welche nach dem Durchtritt durch die Tunica albuginea, wieder verengert, durch immer zahlreicher werdende Windungen kegelförmige Massen darstellen (Fig. 270). Sie vereinigen sich als Samenkegel, Coni vasculosi, durch Bindegewebe zuerst zu dem Kopf des Nebenhodens, treten dann allmählig zu einem einzigen weiteren Gange von 0,44 mm Durchmesser zusammen, der an dem hinteren Rande des Hodens unter zahlreichen Windungen den länglichen Körper oder Schwanz des Nebenhodens bildet. Dieser sendet noch das sich abzweigende, blind endigende Vas aberrans Halleri aus, verliert mehr und mehr seine Windungen und wird zu dem gerade verlaufenden, circa 2 mm weiten Vas deferens. Der Nebenhoden soll sich mit an der Samenproduktion betheiligen.

Fig. 270.



Der Hoden des Menschen nach Arnold. *a* Hoden, in die Läppchen bei *b* zerfallend; *c* Ductuli recti; *d* Rete vasculosum; *e* Vascula efferentia; *f* Coni vasculosi; *g* der Nebenhoden; *h* das Vas deferens; *i* das Vas aberrans Halleri; *m* Aeste der Art. spermatica interna mit ihrer Verbreitung an der Drüse *n*; *o* Arterie des Vas deferens, bei *p* mit dem vorhergehenden Gefässe anastomosirend.

An den Samencanälchen haben wir die Membran und den zelligen Inhalt zu unterscheiden. Nach Kölliker ist die Membran eine ziemlich derbe, bindegewebige Faserhaut mit Längskernen, an der nach innen auch bei dem Erwachsenen noch hier und da eine Membrana propria zu erkennen ist, die la Valette St. George im kindlichen Hoden regelmässig nachweisen konnte.

Der Inhalt der Samencanälchen ist nach dem Alter verschieden, der Hauptsache nach besteht er aus Zellen. Im kindlichen Alter sind die engeren Canäle nur mit kleinen hellen Zellen erfüllt. v. la Valette St. George unterscheidet vor der Bildung des Hodensekrets in den Samenkanälchen von Säugethieren zwei der Membrana propria aufliegende Zellenarten: Follikelzellen, von denen je vier eine Zelle der zweiten Art: Ursamenzelle: Spermatogonie umlagern. Die *Zellen* zeigen deutliche amöboide Bewegungen.

Der Name Follikelzellen deutet darauf hin, dass LA VALETTE eine Analogie zwischen diesen die Ursamenzelle umhüllenden Zellen und den das Urei umhüllenden Follikelzellen statuirt. Zur Zeit der Geschlechtsreife wächst der Umfang der Samencanälchen und der in ihnen enthaltenen Elemente, unter welchen zur Zeit der Samenbildung helle runde Zellen und Blasen: KÖLLIKER'S Samenzellen, oft mit einer grossen Anzahl von Kernen (bis 20) auffallen. Im ersten Stadium der Entwickelung der Samenelemente vermehren sich nach V. LA VALETTE ST. GEORGE die Spermatogonien rasch durch Theilung und wuchern als Zellenhaufen in das Lumen der Samencanälchen hinein. Im weiteren Verlauf geht von dem Kern der Spermatogonie ein energischer Proliferationsprozess aus, der Kern wird maulbeerförmig und zerfällt in einen fortschreitenden Furchungsprocess, dem das Protoplasma mehr oder weniger vollkommen folgt; dadurch wachsen aus den Spermatogonien mit diesen in Zusammenhang bleibende Zellensprossen: Spermatogemmen, Samensprossen, in das Lumen der Canälchen hinein. Aus den Samensprossen entwickeln sich die Samenkörperchen, Spermatosomen. Gleichzeitig wuchern auch die Follikelzellen, schliessen die Spermatogemmen seitlich gegen einander ab und dienen zu deren Befestigung. Indem sich der Fuss, mit welchem die Spermatogemme mit dem Rest der Ursamenzelle, aus der sie entsprosste, zusammenhängt, durch den Druck der nachbarlich wuchernden Gemmengenerationen länger auszieht, erscheint er zuletzt als der dünne fadenförmige Stiel des Samenkörperchens. (Weiteres cf. S. 1035.) (cf. unten Entwickelung der Samenfäden.)

Die Ductuli recti haben einen analogen Bau wie die Samencanälchen, ihr Epithel ist ein ganz niederes Cylinderepithel, und sie sind nicht, wie man früher angenommen hat, weiter, sondern enger als die gewundenen Canälchen (MIHALKOVICS). Die Canale des Rete testis erscheinen als mit Pflasterepithel ausgekleidete Lücken im Gewebe des HIGHMOR'schen Körpers. In dem Nebenhoden tritt bald in der Faserhaut auch eine Lage glatter Muskeln auf; die weiteren Abschnitte des Nebenhodencanals und der Samenleiter besitzen eine dicke Muskelschicht von längs- und querverlaufenden glatten Muskelfasern. Die Vasa efferentia tragen ein einfaches flimmerndes Cylinderepithel, im Canal des Nebenhodens besteht das Epithel aus sehr langgestreckten Zellen mit ovalen Kernen und langen Pinseln von Flimmerhaaren, auch das Epithel der MORGAGNI'schen Hydatiden flimmert (O. BECKER). In den Samencanälchen ist ein eigentliches Epithel meist nicht deutlich.

Chemie des Hodengewebes. — KÖLLIKER fand im Hoden des Stiers 11,427 % organische und 1,308 % Asche und 86,965 % Wasser. KÜHNE wies im Hundehoden Glycogen nach, TRESKIN im Hoden von Rind, Reh und Ziege: Inosit, Kreatin (Kreatinin?), Cholesterin, Lecithin, Leucin und Tyrosin. Glycogen fand er nicht. Im Nebenhoden ist nach TRESKIN auch Leucin, Tyrosin und Cholesterin.

Hodensekret, Samen. Das unvermischte Sekret des Hodens, wie man es bei kräftigen Männern im ganzen Verlaufe des Vas deferens und im Schwanze des Nebenhodens findet, ist eine weissliche zähe, geruchlose Masse. Es besteht fast nur aus den charakteristischen mikroskopischen Elementen, den **Samenfäden**, nebst äusserst wenig einer verbindenden Flüssigkeit. Als mehr zufällige Bestandtheile findet man hier und da noch einzelne Körnchen, Kerne und Zellen beigemischt.

Die Entdeckung der Samenfäden, Fila spermatica, oder Samenthierchen, Spermatozoiden, Spermatozoa, welche sich in etwas verdünntem, frischem Samen in sehr lebhafter Bewegung zeigen, war eine der ersten Errungen-

schaften der Mikroskopie. Leeuwenhoek, welcher hier zuerst genauere Untersuchungen anstellte, nennt als Entdecker einen Studenten in Leyden, J. Ham (1677). Ihre aktive Beweglichkeit, welche den Flimmerbewegungen analog ist, veranlasste es, dass man sie zunächst für Thiere halten musste. Die Bezeichnung Samenfaden stammt von Kölliker.

Die Samenfäden sind der männliche Zeugungsfactor. Es ist für die Beurtheilung der Lehre von der Zeugung und Konstanz der Species im Thierreiche von grosser Wichtigkeit, dass sie in ihrem Bau (Form) nur in der Species konstant sind, sonst aber in der Thierreihe sehr verschieden erscheinen (la Valette St. George). Die Samenfäden der Säugethiere bestehen im Allgemeinen aus einem der Scheibenform sich annähernden Kopfende und einem fadenförmigen Anhange. Die Samenkörper des Menschen haben ein ovales Köpfchen, das dem Faden zugekehrte Ende desselben ist verdickt und abgerundet (Fig. 271), nach oben geht es in eine dünne, in der Mitte etwas eingedrückte Scheibe über, so dass es von der Seite von mehr oder weniger birnförmiger Gestalt erscheint. Grohe und Schweigger-Seidel nehmen an den Samenfäden eine structurlose Membran oder Grenzschicht und eine Inhaltsmasse an, welche Grohe für contractil erklärt. Auf eine feinere Structur deuten noch gewisse Streifungen im Kopfe des Samenfadens (beim Bären, Valentin) und die Differenzirung des letzteren in Kopf, Mittelstück (Schweigger-Seidel) und eigentlichen Faden.

Fig. 271.



Samenkörper des Menschen. *a* unentwickelte, *b* reife.

Das Auffallendste an den Samenfäden oder Samenkörpern ist ihre Beweglichkeit. Doch sind sie bei einigen niederen Thieren (z. B. Oniscus) vollkommen bewegungslos, selbst innerhalb der weiblichen Geschlechtsorgane, bei Nematoden, Daphnien und Krebsen zeigen sie nur amöboide Formveränderungen. Wie schon oben angedeutet, bedürfen auch die menschlichen Samenfäden einen äusseren Einfluss zur Einleitung ihrer Bewegung, wenigstens eine stärkere Verdünnung der Zwischenflüssigkeit. In dem Hodensekret selbst erscheinen sie bewegungslos, sie bewegen sich erst, nachdem dieses durch die Zumischung der Sekrete der Samenblasen, der Prostata und der Cowper'schen Drüsen verdünnt wurde. Auch der Bewegungsmodus der beweglichen Samenfäden ist sehr mannigfach verschieden. Bei Vögeln, z. B. dem Kanarienvogel, pflegt die Bewegung eine gleichmässig fortschreitende zu sein mit gleichmässig rascher Axendrehung des ganzen Samenfadens, bei den Säugethieren ist sie hüpfend und zuckend, wobei das Kopfende immer voran gestossen wird.

Grohe glaubte, dass die Bewegung des Fadens durch Contractionen des Inhalts des Köpfchens eingeleitet werde. Man hat dagegen darauf hingedeutet, dass sich am Köpfchen keine Contractionserscheinungen erkennen lassen, und dass auch kopflose Fäden oft noch lebhafte Schwingungen zeigen können. Im Allgemeinen zeigt die Bewegung der Samenfäden die Eigenthümlichkeiten und Bedingungen der anderen Protoplasmabewegungen (cf. diese), sie stimmt darin etwa mit den Bewegungen der Flimmerzellen überein. Pflüger erklärte den

Samenfaden direct für eine kleine Flimmerzelle; am besten erhalten sich diese Bewegungen in schwach alkalischen Lösungen.

Die Dauer der Bewegung ist nach der Beschaffenheit der Flüssigkeit, in der sie sich befinden, verschieden. Noch 48 Stunden nach dem Tode männlicher Thiere fand man in ihnen bewegungsfähige Spermatozoiden, in den weiblichen Genitalien bewegten sie sich noch 8 Tage nach stattgehabter Begattung.

Die ziemlich sparsamen Nerven des Hodens stammen vom Plexus spermaticus internus ab. LETZERICH sah Nervenfäserchen zwischen den Zellen der Samencanälchen endigen; die Enden sind nach ihm verhältnissmässig kurze, breite mit meist excentrisch aufsitzenden, runden, glänzenden Knöpfchen versehene Axencylinder. Ein directer Einfluss der Nerven auf die Samenbildung ist noch nicht nachgewiesen; durch reichlichere Blutzufuhr zu den Genitalien scheint die Bildung desselben jedoch gesteigert zu werden. In dieser Richtung wirken sitzende, ruhige Lebensweise bei reichlicher Nahrung, entsprechende Richtung der Phantasie und Reizung der Genitalien, vielleicht auch gewisse Gewürze. Beim zeugungsfähigen Manne ist die Samenproduktion eine stetige, die in der Freiheit lebenden Thiere bereiten reifen Samen nur während der Brunstzeit. Die Menge des gebildeten Samens zeigt bei demselben Individuum bedeutende Schwankungen, die absolute Gesammtmenge ist stets ziemlich gering.

Die Lymphgefässe des Hodens sind reichlich entwickelt (PANIZZA), sie nehmen ihren Ursprung aus ziemlich weiten, in dem Bindegewebe zwischen den Samencanälchen verlaufenden Gängen (LUDWIG und TOMSA), die mit einem Endothel ausgekleidet sind (HIS). MIHALKOVICS sucht die Anfänge der Lymphgefässe in feinen Spalten der Lamellen der Samencanälchenwand. Von da aus tritt die Lymphe in die Maschenräume der Bindegewebsbalken; in dem Corpus Highmori sowie in der Albuginea selbst finden sich weitere und engere Lymphgefässe. Die reichlichen Lymphgefässe scheinen für die Möglichkeit einer starken Resorption im Hoden zu sprechen, wodurch vielleicht, wenn keine Samenentleerung eintritt, das stetig abgesonderte Sekret wieder aufgenommen werden kann.

Die Blutgefässe des Hodens gehen aus der Art. spermatica interna hervor und dringen vom hinteren Rande aus in die Drüsensubstanz ein, in welcher sie die Samencanälchen mit einem ziemlich weitmaschigen Kapillarnetz ringförmig umspinnen. Im Nebenhoden ist die Gefässvertheilung (Art. deferentialis) nach MIHALKOVICS reichlicher als im Hoden selbst; die Kapillaren bilden in der muskulösen Wand des Nebenhodencanals unmittelbar unter dem Cylinderepithel ein dichtes Netz. Den Arterien analog verhalten sich die Venen.

Die Bewegung der Samenfäden. — Wie alle Protoplasmabewegungen werden die der Samenfäden durch Säuren sehr rasch aufgehoben. Es scheint auch hier für eine Säurebildung bei der Bewegung zu sprechen, dass in schwach alkalischen Lösungen sich die Bewegungen länger erhalten, und dass wie die Flimmerzellen (VIRCHOW), so auch die Samenfäden, wenn sie zur Ruhe gekommen, durch schwache Alkalilösungen wieder in Bewegung versetzt werden können (KÖLLIKER). Die Bewegung erhält sich lange in Lösungen, welche 1% Chlornatrium, Chlorkalium, Chlorammonium, salpetersaures Kali oder Natron, oder 1—10% phosphorsaures, kohlensaures oder schwefelsaures Natron, schwefelsaure Magnesia oder Chlorbarium enthalten. Wie alle Säuren, so vernichten auch stark alkalische Lösungen, besonders

ammoniakalische die Bewegung, ebenso destillirtes Wasser und Gummilösungen, bei beiden unter Quellung und Schlingenbildung an den Schwänzen, ferner Alkohol, Chloroform, Aether, Kreosot etc. Concentrirte Losungen von Salzen, Zucker, Eiweiss können die Bewegungen der durch Quellung starr gewordenen Fäden zurückbringen (KOLLIKER). Curare soll in exquisiter Weise als Reiz wirken, dagegen sind Kokain und schwefelsaures Morphium wirkungslos. Nach MANTEGAZZA bewahren die menschlichen Samenfäden die Bewegungsfähigkeit von 15—147° C. Bei 0° erhielt sie sich 4 Tage, auch nach dem Aufthauen kehrt sie zurück (analog wie bei Flimmerzellen).

Chemie des Samens. — In dem reifen Hodensekrete des Stiers fand KÖLLIKER 82,05% Wasser und 17,94% feste Stoffe, davon 13,138% Eiweisskörper der Samenfäden, 2,165% phosphorhaltiges Fett und 2,637% Salze. Als Bestandtheile des Samens führt v. GORUP-BESANEZ an: Wasser, ein kaseinähnliches Albuminat, phosphorhaltige organische Körper (Lecithin? Protagon?) und die Blutsalze, vorwiegend phosphorsaure alkalische Erden. Bei der Fäulniss des Samens bilden sich reichlich Krystalle von phosphorsaurer Ammoniakmagnesia. Auch aus dem frischen Samen scheiden sich beim Verdunsten sternförmig gruppirte monoklinometrische (?) mikroskopische Krystalle aus, jedenfalls organischer Natur, vielleicht dem Vitellin verwandt (KÜHNE). Nach F. MIESCHER's Untersuchungen enthält das frische Sperma vom Lachs im Vacuum getrocknet: 18,78% Stickstoff, 11,31% Phosphor und nur 0,28% Schwefel. Die mit Wasser, heissem Alkohol und Aether möglichst erschöpften Spermatozoiden dieses Fisches bestehen nach MIESCHER ausschliesslich aus einer von ihm als Protamin bezeichneten organischen Base mit Nuclein, welches die Rolle einer Säure spielt, verbunden. Dem letzteren gibt er die Formel: $C_{29}H_{49}N_9P_3O_{22}$. Es ist kein Eiweisskörper, der Phosphor ist darin ausschliesslich als Phosphorsäure enthalten. In 100 Theilen ist nach MIESCHER der organische Theil des Lachssamens zusammengesetzt aus: Nuclein 48,68; Protamin 26,76; Eiweissstoffe 10,32; Lecithin 7,47; Cholesterin 2,24; Fett 4,35. Im Sperma anderer Thiere: Frosch, Karpfen, Stier fand sich kein Protamin. J. PICARD fand im trockenen Lachssamen 5% Guanin und Sarkin. Dem ejaculirten Samen scheint aus den accessorischen Drüsen etwas Mucin beigemischt zu sein. Gegen Reagentien verhalten sich die Samenfäden sehr resistent, sie werden weder durch concentrirte Schwefelsäure noch Salpetersäure, Essigsäure, oder kochende concentrirte Sodalösung vollkommen gelöst. Aetzende Alkalien lösen sie in der Wärme. Sie widerstehen der Fäulniss lange; nach dem Eintrocknen am besten mit 1% Kochsalzlösung aufgeweicht, sind sie noch sehr deutlich, z. B. zur **gerichtlichen Diagnose des Samens,** zu erkennen. Noch nach 3 Monaten sah sie DAMM in faulem Harn, selbst beim Glühen bleibt ihre Form unverändert zurück (VALENTIN). In der frischen Substanz des Hodens fand KÜHNE Glycogen.

Die **Samenblasen** enthalten eine eiweissreiche Flüssigkeit, mit kleinen farblosen Gerinnseln und abgestossenem Flimmerepithel. ECKHARD fand, dass auf directe electrische Reizung oder auf Reizung der bei der Erection betheiligten Nerven die **Prostata** des Hundes durch die Contraction ihrer glatten Muskeln einige (20—30) Tropfen ihrer Sekrete stossweise hervorpresst. Das Sekret enthält ein- und mehrkernige Zellen beigemischt, sowie amorphe kugelige Massen, seine Reaktion ist neutral, es enthält 98% Wasser, von den festen Stoffen sind 1,119% organischer Natur, davon 0,45% — 0,91% Eiweiss (BUXMANN).

Nach KÖLLIKER's Mittheilung ist der ejaculirte Same fast farblos, schillernd, von alkalischer Reaktion und eigenthümlichem Geruch, bei der Entleerung zähflüssig und klebrig wie Eiweiss, soll er beim Erkalten gallertig, nach einiger Zeit jedoch wieder dünner und flüssiger werden.

Die Entwickelung der Samenfäden ist zuerst von KÖLLIKER genauer erforscht worden. Er wies nach, dass die Samenfäden nicht, wie man es früher angenommen hatte, als individuell belebte Wesen: Samenthierchen, sondern als Elementartheile des Organismus aufzufassen seien. Er lehrte ihre Entstehung aus Zellen kennen. Die Samenfäden sollten sich nach seinen Angaben durch Umwandlung der Kerne der Samenzellen bilden, indem sich der Kern verlängert und von seinem einen Ende aus einen Faden treibt, während der Rest des Kernes zum Kopf des Samenfadens wird. Nach LA VALETTE sprosst das ganze »Spermatosoma« aus dem

Zellenprotoplasma einer aus Theilung der Ursamenzelle entstandenen Zelle hervor (S. 1037). Der Samenfaden ist von der Dignität einer Zelle, eine kleine Flimmerzelle (Pflüger), männliche Keimzelle. Nach von Ebner sollten sich die Zoospermien in »Spermatoblasten«, den Stützzellen anderer Autoren, bilden. Fr. Merkel's Ansicht schliesst sich mehr an die Kölliker's an.

Die vergleichende Anatomie hat in allen Abtheilungen der Thierwelt, so weit es eine geschlechtliche Fortpflanzung gibt, Samenkörper nachgewiesen, bei den Infusorien (Paramecium aurelia) beschrieb zuerst Johannes Müller fadenförmige Körper, welche den vergrösserten Nucleus erfüllen. Die Zoospermien der Säugethiere unterscheiden sich zwar, aber im Allgemeinen doch nur wenig von denen des Menschen. Beim Schwein und ähnlich beim Stier, Schaf, Pferde ist die Spitze des eiförmigen Kopfes den Fäden zugekehrt, Mäuse und Ratten besitzen ein beilförmiges Köpfchen, letztere mit sehr langem Schwanze; beim Kameel ist der Kopf lang und schmal. Bei Vögeln und Reptilien, sowie bei Frosch und Kröte ist der Kopf lang gestreckt, cylindrisch, bei Singvögeln spiralig gewunden. Die Zoospermien von Triton, Salamander und Bombinator sind durch eine eigenthümliche undulirende Membran an dem Rücken des Schwanzfadens ausgezeichnet (v. Siebold, Czermak). Bei den Fischen ist die Gestalt der Samenfäden analog verschieden wie bei den Vögeln. Die Samenkörper der Wirbellosen sind entweder mehr fadenförmige Gebilde oder von mehr rundlicher Gestalt, letztere z. B. bei Myriapoden und mehreren Krustenthieren. Auch Zoospermien mit undulirenden Membranen wurden bei Wirbellosen beobachtet, bei einigen enthält der Same Zoospermien von zweierlei Art. Bei vielen Wirbellosen umhüllt ein erhärtendes Sekret wie ein Schlauch eine Partie Zoospermien, wodurch die sogenannten »Spermatophoren« und wohl auch die »Samenstäbchen« Leuckart's entstehen. Die Cephalopoden haben einen eigenthümlich gebauten Arm, der vom Hoden den Samen aufnimmt und denselben in die weiblichen Generationsorgane schafft (Aristoteles). Der Arm löst sich bei der Begattung vom Männchen los und führt auf dem Weibchen ein fast individuelles Leben, so dass man ihn früher für einen Parasiten: Hectocotylus (S. 1024), hielt.

Der Eierstock und das Ei.

Eierstock. Man pflegte an der Zeugungsdrüse des Weibes eine Art von Marksubstanz, d. h. eine nicht drüsige, ungemein blutreiche, der Hauptsache nach bindegewebige, schwammige, rothe, an kavernöses Gewebe erinnernde Masse und ein diese umlagerndes Drüsenparenchym als Rindensubstanz zu unterscheiden. Peripherische Ausstrahlungen der bindegewebigen Markmasse sollten im Rindenparenchym eine Art Fachwerk bilden, in welchem die eigentlich drüsigen Partien eingelagert seien und nach aussen in festere Verwebung zu einer wenig abgegrenzten Organhülle: Albuginea, zusammentreten.

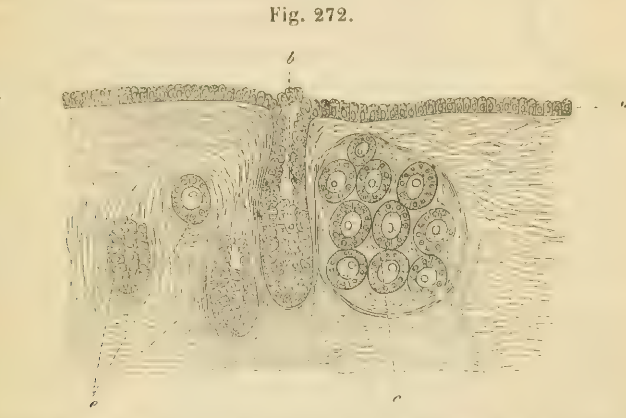
Durch die Untersuchungen Pflüger's ist die Erkenntniss über die Struktur des Eierstocks in eine neue Phase getreten. Wir schliessen uns im Folgenden den Darstellungen Waldeyer's an.

Bei den drei höheren Wirbelthierklassen sind die Ovarien im Allgemeinen nach dem gleichen Typus gebaut. Der **reife Eierstock** zeigt als wesentliche Bestandtheile: 1) das Eierstocksepithel oder Keimepithel, 2) die Eifollikel oder Graaf'schen Follikel, in denen 3) die Eier enthalten sind. Alle diese Gebilde werden 4) getragen und zusammengehalten von einem äusserst gefässreichen, muskel- und nervenhaltigen Bindegewebsstroma.

Das Oberflächenepithel des Eierstocks, das man früher für eine directe Fortpflanzung der Serosa genommen hat, grenzt sich von dieser durch eine weisse Linie ab, welche rings um die Basis des Ovariums läuft. Das Keimepithel besteht anstatt des bekannten plattzelligen Peritonealepithels aus cylindrischen Zellen, die eine dunklere Körnung zeigen. Es ist einem Schleimhautepithel gleichzusetzen, was schon daraus hervorgeht, dass an vielen Eierstöcken das Tubarepithel continuirlich, nur mit Verlust der Flimmerung auf die Ovarialoberfläche übergeht.

Auf dem senkrechten Durchschnitt des Eierstocks zeigt sich zu äusserst das Keimepithel, dann folgt eine festere Bindegewebslage (Fig. 272), in welcher

Fig. 272.



Senkrechter Durchschnitt vom Ovarium einer halbjährigen Hündin, Hartnack $^2/_7$. *a* Epithel. *b* Ovarialschlauch mit freier Mündung. *c* Grössere Gruppe von Follikeln, traubenartig zusammengelagert. *e* Schräge und quere Durchschnitte von Ovarialschläuchen.

sich einzelne Ovarialschläuche und jüngere Eifollikel zeigen. Dann folgen die älteren Eifollikel, zum Theil mit nahezu reifen Eiern, zu innerst das gefässreiche Hilusstroma, die sogenannte Marksubstanz. Die äusserste Lage des bindegewebigen Ovarialstromas ist kurzfaserig, die Bündel durchkreuzen sich vielfältig, im Allgemeinen ist ihr Verlauf aber mehr parallel (Albuginea), in den tieferen Schichten zwischen den Follikeln ist das Bindegewebe langfaserig, wenig fest, sehr zellenreich. Die Zellen sind spindelförmig, hier und da mit sehr langen Ausläufern. Die Marksubstanz, die sogenannte Gefässzone schliesst sich hier unmittelbar an. Um die grösseren und mittelstarken Gefässe derselben liegen glatte Muskeln in einzelnen längsziehenden Bündeln, sie fehlen in der Rindensubstanz beim Menschen. Bei Amphibien und namentlich bei Knochenfischen erscheint dagegen das ganze Organ sehr muskelreich.

Der Hilus ovarii enthält ein Konvolut von weiten Venen, die bei stärkerer Injection eine Art Gefässbulbus darstellen (Rouget). Die Arterien zeigen auch im Ovarium selbst jenen korkzieherartig gewundenen Verlauf, welcher bei den Aesten der A. spermatica interna und der A. uterina bekannt ist. Das Kapillarnetz ist sehr reich, am reichsten in der inneren Follikelhaut (His), hier fast an die Membrana Ruyschiana der Choroidea erinnernd.

His beschreibt Lymphgefässe am Hilus ovarii und weite, sackartige

Lymphräume, welche schalenartig die Follikel (und gelben Körper) umgeben. WALDEYER hat mit sehr dünner Markscheide versehene Nervenfasern bis zwischen die grösseren Follikel eindringen sehen.

An den grösseren GRAAF'schen Follikeln (Fig. 273) unterscheidet man eine bindegewebige Wandung, Theca folliculi (v. BAER), die äussere Schicht besteht aus gewöhnlichem, faserigem Bindegewebe, Tunica fibrosa, die innere ist sehr gefässreich, Tunica propria, und besteht aus zellenreichem, jungem Bindegewebe. Bei jüngeren Follikeln fehlen diese Schichten. Die zelligen Follikelelemente liegen hier nur in rundlichen Stromalücken (WALDEYER). KÖLLIKER nimmt dagegen eine structurlose Basalmembran auch für die jüngsten Follikel an, K. SLAVJANSKY eine aus abgeplatteten Endothelien gebildete Membrana propria. Die innere Oberfläche der Tunica propria ist bei den Säugethieren mit einem mehrschichtigen Cylinderepithel, Follikelepithel, Membrana granulosa, besetzt. An einer, selten an mehreren Stellen, je nach der Zahl der im Follikel enthaltenen Eier, zeigt sich beim Menschen und Säugethiere das Epithel zu einem frei in das Follikellumen hineinragenden hügeligen Vorsprung angehäuft, Discus proligerus, Keimscheibe. Mitten in der Keimscheibe liegt das Ei. Der Follikelraum ist im übrigen mit einer klaren Flüssigkeit, Liquor folliculi, erfüllt, die bei jüngeren Follikeln noch fehlt. Ein Theil der Zellen des Discus proligerus wird als Eiepithel unterschieden. Es bildet dieses eine zusammenhängende Lage von Cylinderzellen, welche ganz nach Art eines Epithels auf der Zona pellucida aufsitzen.

Fig. 273.

GRAAF'scher Follikel des Schweines, ca. 10mal vergr. *a* Aeussere, *b* innere Lage der Faserhaut des Follikels, *c* Membrana granulosa, *d* Liquor folliculi, *e* Keimhügel, ein Vorsprung der Membrana granulosa, *f* Ei mit Zona pellucida, Dotter und Keimbläschen.

Chemische und ärztliche Bemerkungen. — Der Liquor folliculi reagirt frisch fast neutral, schwach alkalisch, die an sich klare Flüssigkeit ist nur durch suspendirte Zellentrümmer getrübt. Sie enthält Eiweissstoffe gelöst, nach WALDEYER vorzugsweise Paralbumin. Die Flüssigkeiten des Hydrops ovarii sind in der Regel dunkelbräunlich gefärbt, sie enthalten hier und da viel krystallisirtes Cholesterin und eigenthümliche Eiweisskörper, Metalbumin, Paralbumin (SCHERER), welche ihr schleimige, fadenziehende Konsistenz ertheilen; wie das Mucin erleiden sie durch Essigsäure schon in der Kälte eine Fällung. Dadurch unterscheidet sich die Hydroovarialflüssigkeit in der Regel von den einfach serösen Ergüssen und den Flüssigkeiten der Echinococcuscysten, in denen wie in der Hydroceleflüssigkeit Bernsteinsäure und Inosit konstatirt wurden. In der Hydroceleflüssigkeit findet sich oft sehr viel Cholesterin und 1—5% Eiweisskörper, besonders viel Fibrinogen, auch Zucker und Harnstoff wurden aufgefunden. Die Chemie und chemische Physiologie des Eies cf. S. 83.

Das Ei ist bei Thieren in seiner ersten Anlage: Primordialei (His), eine einfache Zelle mit weichem, körnigem, membranlosem Protoplasma: Hauptdotter oder Bildungsdotter, Kern: Keimbläschen und Kernkörperchen: Keimfleck, macula germinativa. Bei vielen niederen Thieren findet sich konstant im Keimfleck noch ein äusserst kleines glänzendes Körperchen: das Korn (SCHRON). Im Follikel wird das Primordialei von einer secundären.

wahrscheinlich von dem Follikelepithel ausgehenden Bildung: der Dotterhaut, Zona pellucida, umlagert. Durchmesser des reifen menschlichen Eies im Mittel etwa 0,2 mm.

Die Zona pellucida, die Umhüllungsmembran des Eies, ist eine starke, glashelle, gegen die Dottermasse scharf abgesetzte Lamelle, welche bei fast allen Geschöpfen ein eigenthümliches Structurverhältniss erkennen lässt, welches zuerst von J. Müller und Remak an den Eiern der Fische nachgewiesen wurde; die Zona ist nämlich in radiärer Richtung von zahlreichen Porencanälen durchsetzt, die sich bei den Säugethieren als feine Streifungen zu erkennen geben. Waldeyer glaubt, wie Reichert und Pflüger, die Dotterhaut als eine der Cuticularbildung (S. 29) verwandte Formation auffassen zu müssen, ausgehend von dem Epithel. Eine weitere sogenannte Dotterhaut existirt nicht. Nach Hj. Lindgren sollen durch die Porenkanäle der Zona einzelne Zellen der Membrana granulosa in das Ei einwandern, was er als einen Ernährungsvorgang des Eies auffasst; auch die »Richtungskörper« will er als solche eingewanderte Granulosazellen deuten?)

Der Hauptdotter charakterisirt sich als gewöhnliches Zellenprotoplasma. Pflüger u. A. haben sogar Contractilität an ihm beobachtet. Charakteristisch ist der grosse Reichthum des Eiprotoplasmas an grösseren und kleineren glänzenden Körnern, wahre Dotterkörner (His) von verschiedener Grösse, sie sollen die Reaktionen des Protagons und der Eiweisskörper zeigen.

Gegen E. Häckel's Aussprüche, dass das Ei des Menschen von dem anderer Säugethiere sowohl im unreifen als ausgebildeten Zustand nicht zu unterscheiden sei, zeigte v. Bischoff, dass zwischen dem Ei des Menschen und der Säugethiere sowohl in Grösse der Eier, Dicke der Zona, als besonders in der mikroskopischen Zusammensetzung des Dotters charakteristische Unterschiede existiren. (Das letztere ist auch der Fall zwischen den frühesten Entwickelungsstadien des Menschen und der Wirbelthiere, spec. der höheren Säugethiere.)

Bei den reifen Eiern der Vögel und Reptilien kommt zu dem eigentlichen Ei: Hahnentritt, Cicatricula, mit dem von einer Dotterhaut umhüllten Hauptdotter und dem Keimbläschen, dessen Keimfleck hier früh schwindet, noch ein sogenannter Nebendotter oder Nahrungsdotter, gelber und weisser, hinzu. Die Primordialeier der Vögel sind denen der Säugethiere vollkommen gleich. Der Nahrungsdotter, der dieselben in der Folge umhüllt, scheint ein Produkt des Follikelepithels und zwar nach Waldeyer geradezu metamorphosirtes Protoplasma der Follikelepithelzellen; Gegenbaur hielt dagegen die Nahrungsdotterbestandtheile für Differenzirungen aus dem Protoplasma der primitiven Eizelle selbst. Nach Andeutungen Pflüger's scheint auch bei dem Säugethiere eine Unterscheidung zwischen zwei verschiedenen Dotterpartien gemacht werden zu müssen. Das Keimbläschen wird von einem helleren Protoplasma umgeben, auf welches eine etwas dunklere Masse aufgelagert ist. Es scheint nahe zu liegen (His, Waldeyer), diese äussere Schicht als eine secundäre, vielleicht wie die des Nahrungsdotters auch von dem Follikelepithel ausgehende Bildung aufzufassen. Doch tritt hier in der Folge eine vollkommene Verschmelzung beider Protoplasmaantheile ein, während bei den oben angeführten Eiern, an welche sich die Eier der Selachier, der Knochenfische und der höheren Krustaceen anschliessen, die Trennung eine dauernde ist. Für den

durchgreifenden Unterschied zwischen beiden Dottern spricht die Beobachtung STRICKER's, der am Hauptdotter des Forelleneies deutliche amöboide Bewegungen beobachtete, während der Nebendotter sich stets ganz passiv verhält. Die Eier der Batrachier gleichen mehr denen der Säugethiere, sie lassen keine deutliche Trennung von Haupt- und Nebendotter erkennen.

Das Protoplasma der Eizelle ist contractil. EISNER beobachtete auch amöboide Bewegungen am Keimfleck (Kernkörperchen).

Aerztliche Bemerkungen. — Der Rogen (Eier) der Barbe, Cyprinus barbus, ist giftig, während das Fleisch dieses Fisches keine schädlichen Wirkungen entfaltet. Als Vergiftungserscheinungen treten auf: Erbrechen, Diarrhoe, Leibschmerzen, Pupillenerweiterung, Schlundbrennen (F. MÜNCHMEYER).

Erste Stadien der Eientwickelung (S. S. 14. 20). — Nur der Bildungsdotter betheiligt sich direct an dem Aufbau des Embryonalleibes. Je nachdem die Eier nur Bildungsdotter oder auch Nahrungsdotter enthalten, kommt es zu einer totalen oder partiellen Furchung (S. 14) bei der Fortentwickelung des Eies. Die Embryonalzellen, welche aus den verschiedenen Arten der Furchung hervorgehen, finden auch in verschiedener Art zum Aufbau des Embryonalleibes Verwendung (CLAUS). Bei Coelenteraten, Echinodermen, sowie bei den einfachen und niederen Organisationsformen der Würmer und Arthropoden besteht eine Evolutio ex omnibus partibus, d. h. der Embryonalleib entsteht gleichmässig und in seiner ganzen Begrenzung als eine die Reste des Dotters einschliessende Zellenschicht. Bei den höheren Thieren zeigt sich eine Evolutio ex una parte, hierbei wird der Dotter ungleichmässig und erst nach und nach umwachsen von gewissen Punkten aus, an welchen die ersten Anlagen des Embryo auftreten. Im letzteren Falle zeigt sich noch eine Reihe von Verschiedenheiten. Die Schnecken schliessen sich an das erstgeschilderte Verhalten an. Bei ihnen besteht die Embryonalanlage aus einem flächenhaft entwickelten Primitivtheile, welcher den Rest des Dotters in der Folge ganz umgreift, bei den Cephalopoden bleibt ein Theil des letzteren als Dottersack frei. In anderen Fällen entsteht der Embryo aus einem Keimstreifen, entweder auf der Unterfläche des Dotters, es entspricht der Keimstreifen dann der ersten Anlage der Bauchtheile: bauchständiger Primitivstreifen (bei vielen Anneliden und fast allen Arthropoden), oder er liegt dem Dotter auf und entspricht dann der ersten Anlage der Rückenorgane: rückenständiger Primitivstreifen (bei den Vertebraten). Bei dem fortschreitenden Wachsthum der als Primitivstreifen auftretenden Embryonalanlage wird der Dotter auch entweder vollkommen in den Leibesraum aufgenommen (Frosch, Insect), oder es bildet sich ein Dottersack (Vogel, Säugethiere). Auch die weitere allmählig fortschreitende Organisirung des Embryonalkörpers verläuft bei verschiedenen Thieren sehr verschieden, bei niederen Thieren erscheint er am einfachsten. Im Allgemeinen treten die verschiedenen Organe in der Reihenfolge ihrer Bedeutung für den fertigen Organismus überhaupt auf, oder nach ihrem Werth für die besonderen Bedürfnisse der Jugendzustände (CLAUS).

Künstliche Entwickelungsstörungen (C. DARESTE). — Man ist im Stande, durch verschiedene Mittel: Vertikale Stellung der Eier, Ueberziehen der Schale mit mehr oder weniger impermeablen Stoffen, namentlich aber durch Anbringen einer Wärmequelle in der Nähe der Cicatricula und Steigerung oder Herabminderung der normalen Bruttemperatur, Störungen in der Entwickelung der Eier hervorzurufen. Die einfachen Monstrositäten entstehen durch primäre Entwickelungshemmung besonders des Amnion und der Area vasculosa, deren Veränderungen secundär Verbildungen anderer Organe bewirken. So bewirkt z. B. Entwickelungshemmung der Kopfkappe: Cyclopie, Verdoppelung des Herzens etc.; der Schwanzkappe: Symmelie; der Area vasculosa: Anencephalie. Doch gelang es DARESTE noch nicht, durch bestimmte Einwirkungen auch voraus zu bestimmende Monstrositäten hervorzubringen.

Entwickelung der Ovarien und Eier (WALDEYER). — Bei Hühnerembryonen treten die ersten Spuren der Keimdrüsen beider Geschlechter gegen Ende des vierten Tages auf. Der WOLFF'sche Körper (S. 568), zeigt sich mit einem regelmässigen cylindrischen Epithel über-

zogen, das Epithel der übrigen Peritonealhöhle besteht dagegen bereits aus kleinen glatten Zellen. Nach Schenk trägt ursprünglich die ganze Pleuroperitonealspalte an ihrer Innenfläche ein Cylinderepithel. Am vierten Bruttage verdickt sich in der Mitte und an den Seitentheilen des Wolff'schen Körpers das erwähnte Cylinderepithel bedeutend, die mittlere Verdickung ist die erste Anlage des Ovariums, die seitliche dient zur Bildung der späteren Tube, des Müller'schen Ganges. Während sich bei weiblichen Individuen diese Epithelialverdickung weiter entwickelt, schwindet sie bei männlichen gegen den achten oder neunten Tag. Bei ersteren erhebt sich bald aus dem interstitiellen Gewebe des Wolff'schen Körpers unter jener Epithelverdickung eine kleine, zellenreiche, hügelige Wucherung. Das verdickte Epithel über derselben gestaltet sich nun nach und nach zur Anlage der Graaf'schen Follikel und Eier, sowie des späteren Ovarialepithels, während die bindegewebige Wucherung bestimmt ist, das vaskuläre Stroma des Eierstocks zu liefern (Waldeyer). Schon jetzt zeichnen sich einzelne Zellen des Epithels durch Grösse, runde Form und umfangreiche Kerne aus. Die bisher geschilderten Vorgänge lassen sich auch bei Säugethieren konstatiren. Die weitere Ovarialentwickelung beruht nach Waldeyer (Fig. 274) auf einem eigenthümlichen Durchwachsungsprocess des Keimepithels und des darunter liegenden bindegewebigen Stromas. Hervorwachsende Bindegewebsmassen drängen sich zwischen das gleichfalls wuchernde Epithel ein und umschliessen bald grössere, bald kleinere Partien desselben, welche auf diese Weise mehr und mehr in die Tiefe des Stromas eingebettet werden. In diesem Stadium der Entwickelung bildet das gefässreiche Bindegewebe unter einander zusammenhängende, gleichsam kavernöse Maschenräume, welche Keimepithel in sich einschliessen, dessen einzelne Partien auch meist noch netzförmig unter einander zusammenhängen.

Fig. 274.

Querschnitt des Wolff'schen Körpers mit der Anlage des Eierstocks und des Müller'schen Ganges. (Hühnerembryo vom Ende des vierten Bruttages.) *WK* Wolff'scher Körper. *y* Querschnitt des Wolff'schen Ganges. *a*, und *a* Verdicktes Keimepithel. *ε* Müller'scher Gang im Zusammenhange mit dem Keimepithel. *E* Eierstocksanlage mit stark verdicktem Keimepithel. *O*, *O* Primordialeier. *m* Mesenterium. *L* Seitliche Bauchwand.

Unter den so in das Ovarialstroma eingebetteten Epithelzellen zeichnen sich bald viele durch ihre Grösse und die Grösse ihres Kernes aus, es sind Eier. Die Mehrzahl der anderen Zellen bleibt dagegen klein und gruppirt sich als eine Art Epithel um die Eizellen herum, die einzelnen Eizellen nebst ihrer epithelialen Umhüllung werden durch dazwischen wucherndes Bindegewebe von einander getrennt, die so dargestellten Fächer sind die jüngsten Follikel, die Primordialfollikel, erst in der Folge entwickelt sich die Theca folliculi. Die Form der Fächer, innerhalb deren die Eizellen mit dem Follikelepithel eingebettet sind, ist eine verschiedene, bald sind es rundliche, bald ovale, bald schlauchförmige Bildungen, auf welche letztere namentlich Pflüger zuerst aufmerksam gemacht hat. Nach Bischoff ist mit Ablauf der Fötalperiode die Entwickelung der Eier zu Ende, die im Verlauf des Lebens zur Reife gelangen.

Follikelepithel und Eizelle stehen genetisch in einer directen Beziehung. Die Eier sind bei allen Thierklassen weiter entwickelte, besonders ausgebildete Epithelzellen des Ovariums. Die Primordialeier erscheinen im Principe einander überall gleich gebaut, der äussere Unterschied der reifen Eier beruht auf den secundären Bildungen, welche das Ei theils noch im Eierstock, theils erst in den Eiwegen umhüllen (Waldeyer).

Allgemeines über die Entwickelung der Zeugungsdrüsen beider Geschlechter (Kölliker). — Für die Schilderung der Entwickelung der Geschlechtsorgane bieten die Wolff'schen Körper den Ausgangspunkt. Wir lernten die Wolff'schen Körper (S. 568) beim Menschen in der 4. und 5. Embryonalwoche als zwei spindelförmige Drüsen kennen, welche in der ganzen Länge der Bauchhöhle sich erstrecken und durch ihre Ausführungsgänge die Urnierengänge oder die Wolff'schen Gänge (Thiersch), welche an ihrer äusseren vorderen Seite herablaufen, in das untere Ende der Harnblase, unterhalb der Ureteren münden. Die Geschlechtsdrüsen, Hoden oder Eierstöcke, entstehen selbständig, anfänglich bei beiden Geschlechtern in gleicher Anlage (Waldeyer) an der inneren Seite der Wolff'schen Körper. Gleichzeitig entwickelt sich neben dem Wolff'schen Gang noch ein zweiter Canal, der Müller'sche Gang oder Geschlechtsgang, welcher sich auch in das untere Harnblasenende einsenkt. Dieser Gang verschwindet beim männlichen Geschlechte bis auf die Vesicula prostatica, den Uterus masculinus, wieder, die Geschlechtsdrüse tritt mit dem Wolff'schen Körper, der zum Theil den Nebenhoden bildet, in Verbindung, der Wolff'sche Gang wird Samenleiter. Beim weiblichen Organismus sind dagegen der Wolff'sche Körper und Gang ohne grössere Bedeutung, sie verschwinden bis auf den Nebeneierstock, die Müller'schen Gänge dagegen bilden sich mit ihrem unteren verschmolzenen Ende zu Uterus und Scheide, mit dem getrennt bleibenden oberen zu den Eileitern um. Schon oben wurde erwähnt, dass auch bei den männlichen Embryonen ein Keimepithel wie im Ovarium angelegt wird, aber bald verkümmert. Nach Waldeyer enthält jede Keimdrüse stets die Anlage beider Geschlechter, eine derselben bildet sich zurück. Es tritt auch bei den Embryonen beider Geschlechter zunächst ein Theil der Blinddärmchen des Wolff'schen Körpers mit der Anlage der Keimdrüse in Verbindung, indem sie in dieselbe hineinwachsen. Bildet sich die Keimdrüse zum Eierstock aus, so verkümmern die theilweise hineingewachsenen Wolff'schen Blinddärmchen zu dem Nebeneierstock. Im Gegentheile verlängern sie sich und schlängeln sich knäuelförmig, wenn die Keimdrüse zum Hoden wird. Die nicht mit dem Hoden verwachsenden Canälchen sind die Vasa aberrantia Halleri. Bei beiden Geschlechtern bleiben die oberen blasigen Enden der Müller'schen Gänge, beim Mann als Morgagni'sche Hydatide, beim Weib als ein Bläschen in der Nähe der Tuben. Die Reste des Urnierentheils des Wolff'schen Körpers werden beim Weibe zu einem dem Nebeneierstock anliegenden Körper, beim Manne liegen sie am Nebenhoden als Giraldès'sches Organ, Parepididymis. —

Zur vergleichenden Anatomie. — 1. Hoden (Leydig). Der Hoden der Wirbelthiere enthält die sekretorischen Zellen theils wie der Menschenhoden in langen Canälchen oder in gestielten oder ungestielten Blasen. Dem Menschenhoden analog verhalten sich die Hoden der Säugethiere, der Vögel, Schildkröten, Saurier, Ophidier, z. B. der Ringelnatter. Bei den Batrachiern erweitert sich das blinde Ende der weniger gewundenen Samencanäle kapselartig. Durch eine gleichzeitige Verkürzung der Drüsencanäle wie bei Salamandern wird der Uebergang zu den Hoden gebildet, die aus gestielten Blasen bestehen (Coecilia annulata). Bei Rochen, Haien und Chimären treten die Ausführungsgänge mehrerer solcher Bläschen zu grösseren Stämmchen zusammen, so dass zuletzt nur eine mässige Anzahl Vasa efferentia aus dem Hoden austritt. Bei den Knochenfischen (vielleicht auch bei einigen Vögeln) sind wohl häufig statt der Canäle blasige Räume vorhanden, welche in einen gemeinsamen Hohlgang münden. Beim Stör trifft man dagegen Samencanälchen. Sowohl wenn Canälchen als wenn Blasen den Hoden zusammensetzen, hat man seine bindegewebige Tunica propria und Sekre-

tionszellen im Innern der Drüsenhohlräume zu unterscheiden, so dass der Hodenbau überall, trotz der geschilderten Formverschiedenheiten im Allgemeinen, eine grosse Uebereinstimmung zeigt. Ebenso löst sich die äusserliche grosse Mannigfaltigkeit der Hodenformen bei den Wirbellosen zu ziemlicher Uebereinstimmung auf, wenn man nur die daran betheiligten Gewebe ins Auge fasst. Auch hier sind dies nur Bindesubstanz und Sekretionszellen. Bei den Cölenteraten scheinen nur die letzteren das Wesentliche zu sein, es können bei unseren Hydren die Zellen der äusseren Haut durch lokale Vermehrung und Umbildung ihres Inhaltes zu Samenzellen werden. Die der Tunica propria des Hodens aufliegenden Zellen wimpern bei wenigen Thieren, z. B. bei den eigentlichen Hirudineen.

2. Eierstock (Waldeyer). Im Allgemeinen zeigt sich eine Uebereinstimmung mit der männlichen Keimdrüse. Bei den niedersten Thieren scheinen auch die Eierstöcke auf ihr wesentlichstes Element, die Eizelle, reducirt. Bei den Poriferen sollen sich z. B. einzelne Epithelzellen des Canalsystems zu Eiern ausbilden können. Bei den Infusorien ist der Nucleus als weibliches keimproducirendes Organ aufzufassen. Bei manchen Würmern und Cölenteraten sind einzelne Zellen der Leibeswand mit Keimepithel bekleidet, ohne weitere Unterlage, die Zellen wachsen ohne Weiteres zu Eiern aus. Echinodermen, Mollusken und fast alle Arthropoden zeigen besondere, nach dem Typus der schlauch- oder traubenförmigen Drüsen gebaute Organe, bei den meisten finden sich Analogien der Eifollikel, welche bei den Vertebraten zur ständigen Einrichtung werden. Die primordiale Eizelle wird behufs Ausbildung besonderer Nebentheile in ein eigenes Fach eingeschlossen, von einem vascularisirten Stroma umgeben. Die ganze Anlage der Eierstöcke folgt entschieden dem Typus der echten, d. h. epithelialen Drüsen, auch werden epitheliale Gebilde in Form von rundlichen, länglichen oder schlauchförmigen Massen in ein bindegewebiges, gefässführendes Gerüst eingebettet. Erwähnung haben noch die Zwitterdrüsen zu finden, welche bei dem Molluskentypus sehr verbreitet sind, hier werden, mitunter sogar in denselben Follikeln, sowohl Eier als Samenkörperchen aus den Epithelzellen der Drüsenacini gebildet, z. B. bei Limnaeus auricularis (Eisig). Beiderlei Zeugungsstoffe können dann ihre Abfuhr durch denselben Ausführungsweg finden.

Eireifung und Menstruation.

Periodisch, bei dem menschlichen Weibe meist alle 28 Tage, bei Säugethieren in grösseren Zwischenräumen (Brunst), gelangen ein oder mehrere Follikel des Ovariums zur Reife. Die Follikel dienen als Sprengorgane der Eierstockshüllen. Ihre Grösse und die Spannung ihrer Wand nimmt namentlich durch Vermehrung des Liquor folliculi mehr und mehr zu, die reifenden Follikel nähern sich der Oberfläche des Ovariums und kommen schliesslich unmittelbar unter die obersten Bindegewebsschichten zu liegen. Endlich platzt der Follikel mit den ihn noch bedeckenden Ovarialschichten; das Eichen, umgeben von den Zellen des Discus proligerus, wird dadurch mit der Follikelflüssigkeit frei und von dieser in die Tuben eingeschwemmt, welche, wie man annimmt, sich zur Aufnahme des Eies mit ihren Fransen an den Eierstock anlegen. Der Eierstock des menschlichen Weibes enthält in gemässigten Klimaten etwa von dem 15. Jahre an bis zur Mitte der Vierziger reife Eier. Der periodische, von einer Begattung vollkommen unabhängige Vorgang der Eilösung (Bischoff) ist mit einer kapillaren Blutung der Uterinschleimhaut verknüpft: Menstruation, Regel, welche meist mehrere Tage anhält. Die Blutung kann schon vor erfolgter Eilösung eintreten (Gerlach). Auch bei den Säugethieren ist die Eilösung mit einem Blutabgang aus den Genitalien verbunden. Bei dem mensch-

lichen Weibe wird meist nur ein Ei bei jeder Menstruation gelöst. Während der Schwangerschaft und Laktation findet normal keine Eireifung und daher auch keine Menstruation statt. (Ueber Menstrualblut cf. S. 413).

Pflüger hat die Meinung ausgesprochen, dass die mit einer theilweisen Abstossung der oberflächlichen Schicht des Uterusepithels einhergehende Kapillarblutung des Uterus gleichsam eine »Anfrischung der Uterinschleimhaut in chirurgischem Sinne sei, um die Verbindung, gleichsam Verwachsung des befruchteten Eichens mit der Uterinschleimhaut zu ermöglichen. R. Sigismund hält die Menstruation für den Process der Ausstossung einer nach jeder Eilösung sich bildenden Decidua, mit welcher das unbefruchtet abgestorbene Ei, in analoger Weise wie bei einem Abortus, unter Blutaustritt ausgestossen werde.

Der geplatzte Follikel bildet sich zum Corpus luteum. Bei dem Zerreissen gelangt (nicht immer, His) etwas Blut in seine Höhle. Die Zellen des Follikelepithels wuchern zuerst, gehen dann aber eine fettige Metamorphose ein, die Follikelwand bildet sich zurück, der so gebildete gelbe Körper rückt wieder mehr und mehr in das Innere des Ovariums. Meist schon vor der nächstfolgenden Menstruation schrumpft das Corpus luteum immer mehr, endlich verschwindet es, manchmal einige Pigmentkrystalle, Haematoidin, zurücklassend. Gerlach deutete als Reste sich zurückbildender Follikel »scheinbar röhrenförmige Bildungen, welche stark aufgewunden ganz den Eindruck von Samencanälchen machen«. Sie fanden sich in der Mitte eines geschlechtsreifen Ovariums. An der oberflächlichen Rissstelle des Ovariums bleibt eine Narbe, wodurch die anfänglich glatte Ovarialoberfläche mehr und mehr uneben wird. Während der Schwangerschaft entwickelt sich das zuletzt entstandene Corpus luteum zu bedeutenderer Grösse: man bezeichnet solche stärker entwickelte als wahre gelbe Körper, während man die nach jeder Menstruation sich bildenden falsche gelbe Körper nennt.

Die Befruchtung. Zeugung.

Die Entstehung eines neuen vollkommenen Individuums durch geschlechtliche Zeugung wird durch die materielle Vereinigung der Keimsubstanzen des männlichen und weiblichen Geschlechts eingeleitet. Das Wesen der Befruchtung besteht in dem Eindringen eines oder mehrerer Samenfäden in das Innere des Eies und Verschmelzen der Substanz der weiblichen Keimzelle, des Eies, mit der der männlichen, des Samenfadens (S. 16).

Höchst wahrscheinlich treffen bei dem menschlichen Weibe, wie bei den Säugethieren, Ei und Samen oft schon auf dem Ovarium oder in dessen Nähe in den Tuben zusammen, Bischoff fand bei Säugethieren nach der Begattung (nach 20 Stunden bei einer Hündin) Samenfäden auf der Oberfläche des Ovariums. Das befruchtete Ei gelangt meist, wahrscheinlich unterstützt durch die Flimmerbewegung der Tubenschleimhaut, in den durch die Menstrualblutung zu seiner Aufnahme vorbereiteten Uterus, setzt sich an dessen Schleimhaut fest und wird von dieser in noch nicht vollkommen aufgehellter Weise umwachsen.

In Beziehung auf nähere Beschreibung der folgenden Vorgänge der Schwangerschaft und Geburt, sowie auf die Kritik der Lehren über Ueberschwängerung und Ueberfruchtung wird auf die Lehrbücher der Geburtshülfe verwiesen.

Spallanzani hat zuerst unbestreitbar bewiesen, dass der materielle Contact von Samen und Ei die wesentliche Bedingung der Befruchtung bildet. Nach Unterbindung der Tuben ist die Begattung unwirksam, Frosch- und Fischeier entwickeln sich bei künstlicher Be-

fruchtung, auch Säugethiere können mittelst experimenteller Einspritzung von Samen in die Genitalien befruchtet werden. Schon SPALLANZANI's Versuche wiesen auf die hervorragende Bedeutung der Samenfäden für die Befruchtung hin. Nach den Untersuchungen von BARRY, BISCHOFF und NEWPORT dringen die Samenfäden unter lebhaften Bewegungen mit dem Kopf voran durch die Zona pellucida des Säugethiereies in dieses ein. Bei den Eiern der Insecten und der Eingeweidewürmer etc. sind für das Eindringen der Samenfäden eigene Oeffnungen, Mikropylen, für den Durchtritt der Samenfäden an den festen Eihüllen vorhanden.

Arten der Zeugung (CLAUS). — Im ersten Capitel haben die wichtigsten Gesichtspunkte über die Entstehung neuer Individuen schon ihre Darstellung gefunden. Es erübrigt noch, die verschiedenen Formen der elterlichen Zeugung im Einzelnen etwas näher zu betrachten. Sie lässt sich im Allgemeinen immer auf die Absonderung eines körperlichen Theils zurückführen, welcher sich zu einem dem elterlichen Organismus ähnlichen Individuum entwickelt. Als Hauptformen der Zeugung pflegt man zu unterscheiden: Theilung, Sprossung, Keimbildung und geschlechtliche Fortpflanzung. Die drei ersten Zeugungsformen werden als ungeschlechtliche Zeugung zusammengefasst. Die Fortpflanzung durch Theilung findet sich vorzugsweise bei den Protozoën. Die zur Trennung in zwei Individuen führende Abschnürung des Mutterthiers kann longitudinal, transversal und diagonal erfolgen, sie kann vollständig oder unvollständig sein. Im letzteren Falle entsteht durch fortgesetzte unvollständige, dichotomische Theilung, wobei die neuentstandenen Thiere mit den alten im Zusammenhang bleiben, ein sogenannter Thierstock (Vorticellinen, Polypenstöcke). Bei der Keimung geht der Abschnürung oder vollkommenen Theilung ein einseitiges, zur Bildung einer Knospe führendes Wachsthum des Mutterthieres voraus. Tritt keine vollkommene Abtrennung ein, so entstehen auch hier wie bei unvollkommener Theilung Thierstöcke (Polypenstöcke). Bei der Keimbildung sondern sich im Innern des Organismus Zellen oder zellenähnliche Bildungen (Keimkörper) ab, welche sich zu neuen Individuen organisiren können. Bei den Gregarinen löst sich das ganze Mutterthier in Keimkörner, d. h. in ihre Nachkommenschaft auf, meist bildet sich aber nur ein Theil des mütterlichen Organismus zu Keimen um (Trematoden, Sporocysten), und zwar geschieht das in der Mehrzahl der Fälle in einem bestimmten, die Funktion der Fortpflanzung übernehmenden Organe: Fortpflanzungskörper (Infusorien, Cecidomyialarven, vivipare Aphiden, cf. unten).

Die geschlechtliche Fortpflanzung schliesst sich in ihren Grenzformen der Keimbildung vollkommen an. Im Allgemeinen besteht ihr Wesen in der Bildung zweier verschiedener Keime, Eizelle und Samenzelle, deren Conjugation erst zur Entwickelung eines neuen Individuums führt. Die Fortpflanzungskörper bezeichnet man hier als männliche (Samen erzeugende) und weibliche (Eier zeugende) Geschlechtsorgane. Als die ursprüngliche und einfachste Form des Auftretens der Geschlechtsorgane erscheint der Hermaphroditismus. Ei und Same wird von demselben Thiere erzeugt, der Zwitter, Hermaphrodit repräsentirt für sich allein die Art. Am meisten verbreitet ist diese Fortpflanzungsform unter den niederen Thieren, doch findet sie sich in allen thierischen Organisationsplänen (CLAUS). Besonders einzeln vorkommende (Eingeweidewürmer) oder sich langsam bewegende (Landschnecken, Würmer) oder der Ortsbewegung ganz unfähige Thiere (Tunicaten, Austern) sind hermaphroditisch. In den einfachsten Fällen begegnen und befruchten sich die beiden nachbarlich entstandenen Keime direct im Organismus des Zwitters (Ctenophoren). Bei den Schnecken finden sich noch Eierstöcke und Hoden in derselben Drüse: Zwitterdrüse, vereinigt, die Ausführungswege zeigen dabei aber eine fortschreitende Sonderung. Bei den Trematoden bestehen zwischen den getrennten Ausführungsgängen noch communicirende Gänge, durch welche ein Begegnen der beiden Zeugungsstoffe ermöglicht ist. Endlich leitet der Hermaphroditismus dadurch zur Trennung der Geschlechter über, dass Eierstöcke und Ovarien vollständig getrennte Ausführungswege besitzen, so dass nicht mehr die Selbstbefruchtung, sondern die Wechselbefruchtung zweier hermaphroditischer Individuen, von denen dabei meist jedes die Rolle des Männchens und Weibchens spielt, zur Regel

wird. Verkümmert die eine Form der Geschlechtsorgane theilweise oder vollkommen (Distomum filicolle und haematobium), so haben wir Individuen getrennten Geschlechtes vor uns.

Die geschlechtliche Zeugung reiht sich noch weiter durch die besonders bei Insekten ziemlich häufig beobachtete (v. Siebold) Parthenogenesis innig an die einfache Keimbildung. Die in einem ausgesprochen weiblichen Organismus, in einem Eierstock entstandene Eizelle ist unter gewissen Verhältnissen ähnlich wie die Keimzelle spontan entwickelungsfähig, ohne Hinzutritt des männlichen Keimstoffs (Bienen, Psychiden, Schildläuse, Rindenläuse etc.). Bei den sonst eierlegenden und geschlechtlich sich fortpflanzenden Blattläusen kommen Generationen, im Allgemeinen nach dem Typus von Weibchen gebauter viviparer Individuen vor, denen aber die Einrichtungen zur geschlechtlichen Befruchtung mangeln, und deren Eier sich ohne Begattung entwickeln. Auch die Cecidomyienlarven erzeugen lebendige Junge. In der Anlage der Fortpflanzungsdrüse entsteht bei ihnen sehr frühzeitig eine Anzahl von Fortpflanzungszellen, welche sich sofort ohne Befruchtung zu Larven entwickeln, so dass hier kein Unterschied zwischen der Geschlechtsdrüsenanlage und dem Fortpflanzungskörper der Keimbildung existirt (cf. oben).

Oben S. 16 und 1036 wurde schon darauf hingewiesen, das auch das unbefruchtete Säugethierei gewisse erste Stadien der Entwickelung regelmässig durchmacht (Bischoff, Oellacher), es geht jedoch in der Folge sehr bald zu Grunde. Bei der Parthenogenesis schreitet die Entwickelung des Eies bis zu ihrem Endziele fort. Wahre Parthenogenesis ist bisher nur bei Wirbellosen neben geschlechtlicher Zeugung beobachtet worden. Am längsten bekannt ist der Vorgang bei den Bienen. Von dem Hochzeitsflug kehrt die Bienenkönigin mit gefülltem Receptaculum seminis in den Bienenstock zurück, sie ist willkürlich (?) im Stande, die von ihr gelegten Eier zu befruchten. Es ist durch die Untersuchungen v. Siebold's u. A. erwiesen, dass nur die Eier, aus welchen sich Arbeiterinnen bilden sollen, befruchtet werden, die Eier, aus denen sich Drohnen, Männchen, entwickeln, bleiben dagegen unbefruchtet. Bei den Psychiden fand v. Siebold das Verhältniss im Allgemeinen analog wie bei den Bienen, die unbefruchteten Eier liefern hier aber nur Weibchen.

Die Parthenogenesis steht mit dem Generationswechsel in einem gewissen Zusammenhang. In der Mehrzahl der Fälle sehen wir aus dem Ei einen jugendlichen Organismus hervorgehen, der sich nach mehr oder weniger grosser Umbildung zum geschlechtsreifen, die Art repräsentirenden Organismus umbildet. Beschränkt sich die nachembryonale Entwickelung nicht nur auf allgemeines Wachsthum und die Ausbildung der Geschlechtsorgane, sondern ist die Körperform des neugeborenen Organismus in wesentlichen Stücken (provisorische Einrichtungen, Larvenorgane) von denen des erwachsenen unterschieden, so bezeichnen wir die Entwickelung als Metamorphose, das unentwickelte Junge als Larve. Der Generationswechsel zeigt uns nun Fälle, bei denen die Entwicklungsvorgänge nicht an einem und demselben Individuum wie bei der Metamorphose ablaufen, bei denen also die gesammte Lebensgeschichte der Art nicht mit der Entwickelung eines Individuums beginnt und abschliesst, sondern sich aus dem Leben und der Entwickelung zweier oder mehrerer Generationen zusammensetzt. Der Larvenzustand, welcher sich zu dem Zustande des vollkommen geschlechtlich entwickelten, die Art repräsentirenden Individuums bei der Metamorphose an ein und demselben Thiere fortbildet, wird bei dem Generationswechsel selbständig, pflanzt sich ungeschlechtlich fort, und erst nach einem gesetzmässigen Wechsel einer oder mehrerer ungeschlechtlich sich fortpflanzender, verschiedenartiger, gleichsam Larven darstellender Generationen entsteht wieder eine geschlechtlich entwickelte, sich geschlechtlich fortpflanzende Generation. Die direkten Nachkommen dieser sind wieder von ihnen verschieden, pflanzen sich ungeschlechtlich durch Knospung oder Keimung fort (Ammen), woraus entweder sofort oder nach einer neuen Ammengeneration (man unterscheidet dann die erste Generation als Grossammen von der zweiten der Ammen) entwickelte Geschlechtsthiere hervorgehen. Unterscheiden sich die Ammen in Gestalt und Lebensverrichtungen wenig von den entwickelten Geschlechtsthieren wie bei Salpen und Aphiden, so

bezeichnet man das wohl auch als Heterogonie. Bei Trematoden, Cestoden, Medusen steht die Amme zum Geschlechtsthiere im Verhältnisse einer Larve. Ammen und Geschlechsthiere können mit einander zu polymorphen Thierstöcken Siphonophoren vereinigt sein, wo dann die Individuen in Form, Organisation und Lebensaufgabe verschieden sind (CLAUS).

Begattungsorgane und Begattung. Bei den Säugethieren wird der Same zum Behufe der Befruchtung in die weiblichen Geschlechtsorgane eingebracht, die hierbei betheiligten Organe werden als Begattungsorgane, der Akt selbst als Begattung bezeichnet. Das männliche Begattungsglied wird durch die Erektion zu dieser Function befähigt. Das Wesen der Erektion besteht in einer strotzenden Blutanfüllung der Corpora cavernosa. Sie scheint auf einer Hemmung des Blutabflusses aus den Schwellkörpern, durch Kompression der abführenden Venen, und gleichzeitig auf einem vermehrten Blutzufluss durch Nachlass einer tonischen Gefässcontraction (KÖLLIKER) zu beruhen. ECKHARDT fand, dass beim Hunde Nervenfäden, welche vom Plexus ischiadicus zum Pl. hypogastricus verlaufen: Nervi erigentes, durch ihre Reizung Erektion veranlassen. Sie haben nach demselben Forscher ihren Ursprung im Gehirn und verlaufen durch die Brücke. LOVÉN beobachtete, dass dabei die angeschnittenen Gefässe des Plexus stärker bluten, was für eine Erschlaffung der Gefässwandungen sprechen mag. Der Druck in den Penisgefässen steigt dabei nur auf $^1/_6$ des Druckes in der Carotis desselben Thieres (LOVÉN). GÜNTHER und HAUSMANN durchschnitten die vasomotorischen Nerven des Penis, welche durch den N. pudendus und die Nn. dorsales penis gehen, wodurch die Fähigkeit zur Erektion vernichtet wurde. Eine Kompression der abführenden Venen haben die Beobachtungen HENLE's und LANGER's wahrscheinlich gemacht. Nach dem ersteren könnte sie, namentlich bei dem Maximum der Erektion, durch den Musculus transversus peritonei erfolgen, durch den die Vv. profundae hindurchtreten. LANGER weist in demselben Sinne auf die an glatten Muskelfasern reichen Vorsprünge in den Venen des Plexus Santorini hin, sowie darauf, dass die Vv. profundae durch die Corpora cavernosa selbst hindurchlaufen. Der gewundene Verlauf der Arteriae helicinae, welcher eine Verlängerung des Penis ohne Zerrung der Arterien ermöglicht, ist aus der Anatomie bekannt.

Der Same wird bei sensibler Reizung des Penis aus den Samenbehältern durch peristaltische Contraction der Samenleiter und Samenblasen in die Harnröhre und von da durch rhythmische Contractionen der Mm. bulbocavernosi und ischiocavernosi in die weiblichen Geschlechtsorgane eingetrieben, in welchen ebenfalls gewisse Reflexbewegungen (v. BISCHOFF, LOTT u. A.), z. B. senkrechteres Aufstellen des Uterus und peristaltische (antiperistaltische?) Bewegungen des Uterus und der Tuben nach den Ovarien zu eintreten sollen. Die Ursachen des Vordringens des Samens in die Tuben und zum Ovarium sind Einsaugung, Schluckbewegungen des Uterus, antiperistaltische Bewegungen des Tubus, combinirt mit der Bewegung der Samenfäden, welche zwar regellos vor sich gehen, aber unter der grossen Zahl doch einige dem Ziele zuführen. Gar nicht erscheint das nach auswärts schwingende Flimmerepithel der Tubarschleimhaut dazu geeignet.

Nach den Beobachtungen von L. OSER und W. SCHLESINGER werden die **Uterusbewegungen** vom Gehirn (verlängerten Mark) aus angeregt. Durch Athmungssuspension, durch rasche Verblutung und durch Absperrung der arteriellen Blutzufuhr zum Gehirn wird ein Reizzustand in

demselben gesetzt, durch welchen Uterusbewegungen ausgelöst werden. Im Allgemeinen zeigen die Uterusbewegungen gewisse Analogien mit der Darmbewegung. Auch vom Rückenmarke gehen nach SCHLESINGER Uterusnerven aus. Uterusbewegungen können reflektorisch z. B. durch Reizung der Brustwarzen angeregt werden.

Entwickelung der äusseren Genitalien (KÖLLIKER). — Hoden und Eierstöcke liegen Anfangs in der Bauchhöhle an der vorderen inneren Seite der Urnieren neben den Lendenwirbeln. Die Hoden rücken bekanntlich später allmälig nach abwärts (**Descensus testiculorum**) und gelangen meist noch vor der Geburt (im 8. Monat) durch den Leistencanal in das Scrotum, in welches sich schon im dritten Monat der Processus vaginalis peritonei selbständig ausgestülpt hat. In Ausnahmefällen bleiben ein oder beide Hoden im Leistencanale oder in der Bauchhöhle: Kryptorchidie. Der **Descensus ovarii** ist weniger ausgeprägt als der des Hodens. Es rücken die Eierstöcke gegen die Leistengegend herab, indem sie sich zu gleicher Zeit schief stellen. In sehr seltenen Fällen treten sie wie die Hoden in den Leistencanal und können selbst bis in die grossen Schamlippen herabrücken.

Die äusseren Geschlechtstheile bilden sich bei beiden Geschlechtern aus primär gleicher Anlage. In der vierten Woche zeigt sich nahe am hinteren Leibesende die Kloakenmündung, die gemeinsame Mündung des Darms, des Urachus und der Urnieren. Noch bevor sich diese einfache Oeffnung trennt, erheben sich, etwa in der sechsten Woche, vor derselben ein einfacher Wulst: Geschlechtshöcker, und zwei seitliche Falten: Geschlechtsfalten. Gegen Ende des zweiten Monats zeigt sich weiter die sogenannte Geschlechtsfurche von der unteren Seite des sich mehr erhebenden Höckers zur Kloakenmündung verlaufend. Im dritten Monat, in welchem sich auch die Kloakenmündung in die beiden oben angeführten Oeffnungen durch Bildung des Dammes trennt, treten die Geschlechtstheile deutlicher hervor. Beim männlichen Embryo wird der Genitalhöcker zum Penis, im dritten Monat bildet sich an seiner Spitze eine kleine Anschwellung, die Glans; in der ersten Hälfte des vierten Monats verwächst die Genitalfurche zur Harnröhre, und etwa gleichzeitig verwachsen auch die beiden Genitalien zum Scrotum, eine Naht: Raphe scroti et penis, die von der Penisspitze zum Anus läuft, deutet die Verwachsungsstelle an. Den hinteren Harnröhrenabschnitt bildet der Sinus urogenitalis, als dessen röhrenförmiger Ansatz nun die Harnröhre des Mannes erscheint. Bei den weiblichen äusseren Genitalien verwachsen Geschlechtsfurche und Geschlechtswülste nicht, wodurch der Sinus urogenitalis ganz kurz bleibt. Die Genitalwülste werden zu den grossen Schamlippen, die Ränder der Geschlechtsfurche zu den Labia minora, von welchen aus dann auch eine Falte um die Glans, die aus dem Geschlechtshöcker sich bildende, lange unverhältnissmässig gross bleibende Clitoris sich erhebt. Der verkürzte Sinus urogenitalis bildet eine Grube zwischen den kleinen Schamlippen, in welche die kurze Harnröhre und die Vagina getrennt einmünden.

Alphabetisches Register.*)

A.

B.

*) Man vergleiche auch die mehrfachen ausführlichen Inhaltsübersichten.

C. (cf. auch K.)

D.

G.

H.

I.

K.

L.

M.

N.

O.

P.

Q.

R.

S.

T.

U.



Druck von Breitkopf & Härtel in Leipzig





